



TUGAS AKHIR - TF 141581

**OPTIMASI DESAIN DIMENSI WAHANA APUNG
BUOYWEATHER TYPE II MENGGUNAKAN
METODE PARTICLE SWARM OPTIMIZATION
UNTUK KESTABILAN PADA *SEA STATE 6***

**NURI SABRINA
NRP. 2413 100 073**

**Dosen Pembimbing :
Prof. Dr. Ir. Aulia Siti Aisjah, M.T.
Dr. Ir. Syamsul Arifin, M.T.**

**DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya, 2017**

Halaman ini sengaja dikosongkan



FINAL PROJECT - TF 141581

***DIMENSIONAL DESIGN OPTIMIZATION OF
FLOATING VECHICLE BUOYWEATHER TYPE
II USING PARTICLE SWARM OPTIMIZATION
METHODS FOR STABILITY AT SEA STATE 6***

***NURI SABRINA
NRP. 2413 100 073***

***Supervisors :
Prof. Dr. Ir. Aulia Siti Aisjah, M.T.
Dr. Ir. Syamsul Arifin, M.T.***

***ENGINEERING PHYSICS DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya, 2017***

This page is left blank

LEMBAR PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nuri Sabrina

NRP : 2413100073

Departemen : Teknik Fisika – FTI ITS

dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir saya berjudul "OPTIMASI DESAIN IMENSI WAHANA APUNG *BUOYWEATHER TYPE II* MENGGUNAKAN METODE *PARTICLE SWARM OPTIMIZATION* UNTUK KESTABILAN PADA *SEA STATE 6*" adalah bebas dari plagiasi. Apabila pernyataan ini terbukti tidak benar, maka saya menerima sanksi ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Surabaya, 13 Juli 2017
Yang membuat pernyataan,



Nuri Sabrina
NRP. 2413100073

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

OPTIMASI DESAIN DIMENSI WAHANA APUNG
BUOYWEATHER TYPE II MENGGUNAKAN METODE
PARTICLE SWARM OPTIMIZATION UNTUK KESTABILAN
PADA SEA STATE 6

TUGAS AKHIR

Oleh :
NURI SABRINA
NRP. 2413 100 073

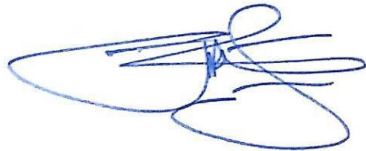
Surabaya, 13 Juli 2017

Menyetujui,
Dosen Pembimbing I



Prof. Dr. Ir. Aulia Siti Aisjah, M.T.
NIPN. 196601161989032001

Menyetujui,
Dosen Pembimbing II



Dr. Ir. Svamsul Arifin, M.T.
NIPN. 196309071989031004

Mengetahui,
Ketua Departemen
Teknik Fisika FTI-ITS



Agus Muhammad Fatah, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIPN. 19780902 200312 1 002

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

OPTIMASI DESAIN DIMENSI WAHANA APUNG BUOYWEATHER TYPE II MENGGUNAKAN METODE PARTICLE SWARM OPTIMIZATION UNTUK KESTABILAN PADA SEA STATE 6






TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Rekayasa Instrumentasi
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

NURI SABRINA
NRP. 2413 100 073

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Prof. Dr. Ir. Aulia Siti Aisjah, M.T.  (Pembimbing I)
2. Dr. Ir. Syamsul Arifin, M.T.  (Pembimbing II)
3. Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA  (Penguji I)
4. Ir. Tutug Dhanardono, M.T.  (Penguji II)
5. Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D.  (Penguji III)

SURABAYA
JULI, 2017

Halaman ini sengaja dikosongkan

**OPTIMASI DESAIN DIMENSI WAHANA APUNG
BUOYWEATHER TYPE II MENGGUNAKAN METODE
PARTICLE SWARM OPTIMIZATION UNTUK
KESTABILAN PADA SEA STATE 6**

Nama : Nuri Sabrina
NRP : 2413 100 073
Jurusan : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : 1. Prof. Dr. Ir. Aulia S. Aisjah, M.T.
2. Dr. Ir. Syamsul Arifin, M.T.

ABSTRAK

Desain wahana apung yang tepat menjadi penting untuk *buoyweather type II* agar dapat memenuhi kriteria *seakeeping* saat dioperasikan di laut lepas. Oleh sebab itu pada tugas akhir ini dilakukan optimalisasi desain dimensi wahana apung *buoyweather* menggunakan metode *particle swarm optimization* (PSO) dengan diameter dan ketinggian silinder *buoyweather* sebagai variabel desain. Optimalisasi desain dimensi wahana apung tersebut bertujuan agar memenuhi kriteria kestabilan sampai *sea state* 6 serta dengan desain dimensi wahana apung yang tepat *buoyweather* dapat diproduksi secara masasl untuk kepentingan masyarakat. Optimalisasi tersebut mempunyai fungsi tujuan memaksimalkan respon gerak (RAO) *heave* wahana apung dengan meminimalkan massa wahana apung tersebut. Pengujian dilakukan pada arah gelombang 0° dan pada arah gerak *heave* serta dengan 3 variasi pembebanan yaitu keadaan kosong, pembebanan 50% dan pembebanan 100%. Hasil optimasi didapatkan respon gerak *heave* maksimum sebesar 3,942 m/m dengan rincian dimensi wahana apung yaitu 1.27 m (D1), 0.91 m (D2), 0.25 m (L1), 0.2 m (L2). Dari hasil optimasi dilakukan perhitungan respon spektrum untuk mengetahui kualitas gerak dari desain dimensi *buoyweather* dan didapatkan hasil puncak respon spektrum sebesar $7,44 \text{ m}^2/(\text{rad/s})$.

Kata Kunci : *Buoyweather type II*, Optimalisasi, PSO, RAO, Respon spektrum

Halaman ini sengaja dikosongkan

***DIMENSIONAL DESIGN OPTIMIZATION OF
FLOATING VEHICLE BUOYWEATHER TYPE II USING
PARTICLE SWARM OPTIMIZATION METHODS FOR
STABILITY AT SEA STATE 6***

Name : Nuri Sabrina
NRP : 2413 100 073
Department : Engineering Physics FTI-ITS
Supervisors : 1. Prof. Dr. Ir. Aulia S. Aisjah, MT
2. Dr. Ir. Syamsul Arifin, M.T

ABSTRACT

Best design of buoy become important for Buoyweather Type II to be able to achieve seakeeping criteria when operated on the high seas. Therefore, in this final project will be optimized buoyweather buoy dimensional design using particle swarm optimization (PSO) method with diameter and height of cylinder buoyweather as design variable. Optimizing the design of the floating vehicle is aimed to achieve the criteria of stability up to sea state 6 and with the appropriate dimensional design buoyweather buoyancy dimensions can be mass produced for the benefit of society. The optimization has the objective function of maximizing the heave wave motion response (RAO) by minimizing the mass of the floating vehicle. The design will be tested on the direction of zero degrees waves as well as with 3 variations of loading that is empty, 50% load and 100% load. The optimum result obtained a maximum heave motion response of 3,492 m/m with details of floating vehicle dimensions of 1.27 m (D1), 0.91 m (D2), 0.25 m (L1), 0.2 m (L2). From the optimization results calculation of spectrum response to determine the quality of motion of the buoyweather dimension design optimization results and obtained peak response spectrum result of 7.44 m²/(rad/s).

Keywords: Buoyweather Type II, Optimizing, PSO, RAO, response spectr

This page is left blank

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya, serta shalawat serta salam kepada Nabi Muhammad SAW, hingga terselesaikannya Tugas Akhir beserta Laporan Tugas Akhir yang berjudul **OPTIMASI DESAIN DIMENSI WAHANA APUNG *BUOYWEATHER TYPE II* MENGGUNAKAN METODE *PARTICLE SWARM OPTIMIZATION* UNTUK KESTABILAN PADA *SEA STATE***

6

Penulis telah banyak memperoleh bantuan dari berbagai pihak dalam penyelesaian Tugas Akhir dan laporan Tugas Akhir ini. Penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D. selaku Ketua Departemen Teknik Fisika yang telah memberikan petunjuk, ilmu, serta bimbingan selama menempuh pendidikan di Teknik Fisika.
2. Ibu Prof. Dr. Ir. Aulia Siti Aisjah, M.T. dan Bapak Dr. Ir. Syamsul Arifin, M.T. selaku dosen pembimbing yang telah dengan sabar memberikan petunjuk, ilmu, serta bimbingan yang sangat bermanfaat.
3. Bapak Totok Ruki Biyanto S.T., M.T., Ph.D. selaku Kepala Laboratorium Rekayasa Instrumensi yang telah memberikan ilmu, petunjuk, nasihat, serta kemudahan perizinan.
4. Bapak Ir. Heri Joestiono selaku dosen wali penulis.
5. Kedua orang tua (Bapak Abdul Djalal dan Ibu Malicha) , Saudara (Nadia dan Nuriyah) serta Danil Terimakasih atas segala cinta, kasih sayang, doa, perhatian, serta dukungan moril dan materiil yang telah diberikan.
6. Seluruh teman Tugas Akhir (Sonya, Sari, Safira, Prisma, Krisandi, Dany, Citra, Uyun), terima kasih untuk semuanya.
7. Seluruh dosen, karyawan, dan civitas akademik Teknik Fisika, terimakasih atas segala bantuan dan kerjasamanya.

8. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terimakasih atas bantuannya.

Penulis sadar bahwa penulisan laporan Tugas Akhir ini tidaklah sempurna, namun semoga laporan ini dapat memberikan kontribusi yang berarti dan menambah wawasan yang bermanfaat bagi pembaca, keluarga besar Teknik Fisika khususnya, dan civitas akademik ITS pada umumnya. Selain itu juga semoga dapat bermanfaat sebagai referensi pengerjaan laporan Tugas Akhir bagi mahasiswa yang lain.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|---|---------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| <i>TITLE PAGE</i> | iii |
| LEMBAR PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI | v |
| LEMBAR PENGESAHAN | vii |
| LEMBAR PENGESAHAN | ix |
| ABSTRAK | xi |
| <i>ABSTRACT</i> | iii |
| KATA PENGANTAR..... | xv |
| DAFTAR ISI | iii |
| DAFTAR GAMBAR..... | xxi |
| DAFTAR TABEL | xiii |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Permasalahan..... | 2 |
| 1.3 Batasan Masalah..... | 3 |
| 1.4 Tujuan | 3 |
| 1.5 Manfaat | 4 |
| BAB II TEORI PENUNJANG | 5 |
| 2.1 <i>Buoyweather</i> | 5 |
| 2.2 Geometri Wahana Apung <i>Buoyweather</i> | 6 |
| 2.3 Keseimbangan Benda Terapung..... | 7 |
| 2.4 Titik Penting Keseimbangan Benda Terapung..... | 8 |
| 2.4.1 Titik Berat | 8 |
| 2.4.2 Titik Apung | 8 |
| 2.4.3 Titik Metacenter | 9 |
| 2.5 Stabilitas Benda Terapung | 10 |
| 2.6 Gerakan <i>Buoyweather</i> | 12 |
| 2.6.1 Gerakan <i>Buoyweather</i> di Gelombang Reguler | 13 |
| 2.6.1.1 Kekakuan Hidrostatik | 16 |
| 2.6.1.2 Redaman Hidrodinamik..... | 17 |
| 2.6.2 Gerakan <i>Buoyweather</i> di Gelombang Acak | 17 |
| 2.6.2.1 Spektrum Gelombang | 17 |
| 2.6.2.2 Respon Sepktrum..... | 18 |
| 2.7 Gaya Gelombang..... | 19 |

| | | |
|-------------------------------------|--|----|
| 2.7.1 | Klasifikasi Gelombang Menurut Teori Gelombang Linier | 21 |
| 2.7.2 | Frekuensi Gelombang Papasan (<i>Frequency Encounter</i>).... | 22 |
| 2.8 | Koefisien Hidrodinamika Benda Apung | 24 |
| 2.8.1 | Koefisien Blok (C_B) | 24 |
| 2.8.2 | Panjang Kapal (L_{pp})..... | 24 |
| 2.8.3 | Lebar Kapal (B)..... | 24 |
| 2.8.4 | Tinggi Kapal (H) | 25 |
| 2.8.5 | Sarat Kapal (T)..... | 25 |
| 2.8.6 | <i>Displacement</i> | 25 |
| 2.9 | <i>Particle Swarm Optimization</i> (PSO) | 25 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN | | 29 |
| 3.1 | Studi Literatur | 30 |
| 3.2 | Evaluasi Kriteria Desain dan Pengumpulan Data | 30 |
| 3.3 | Pemodelan <i>Buoyweather</i> | 33 |
| 3.3.1 | Perhitungan Titik Berat <i>Buoy</i> | 34 |
| 3.3.2 | Perhitungan Titik Apung <i>Buoy</i> | 35 |
| 3.4.3. | Perhitungan Titik Metasentrum..... | 35 |
| 3.4.4. | Perhitungan Kekakuan <i>Buoy</i> | 36 |
| 3.4.5. | Perhitungan Redaman <i>Buoy</i> | 36 |
| 3.4 | Perhitungan Respon Stuktur | 37 |
| 3.5 | Perhitungan Respon Spektrum | 37 |
| 3.6 | Optimasi Menggunakan <i>particle swarm optimization</i> .. | 37 |
| 3.6.1 | Penentuan Fungsi Objektif dan <i>Constrain</i> | 37 |
| 3.6.2 | Algoritma PSO | 39 |
| 3.6.3 | Parameter Optimasi Dimensi menggunakan PSO..... | 41 |
| 3.7 | Analisa Hasil | 42 |
| 3.8 | Kesimpulan | 42 |
| BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN | | 43 |
| 4.1 | Kriteria Kestabilan <i>Buoyweather Type II</i> | 43 |
| 4.2 | Pemodelan <i>Buoyweather Type II</i> | 44 |
| 4.3 | Respon Model <i>Buoyweather Type II</i> | 46 |
| 4.4 | Optimasi <i>Buoyweather Type II</i> Menggunakan PSO..... | 54 |
| 4.5 | Respon Model <i>Buoyweather</i> Hasil Optimasi | 59 |
| BAB V PENUTUP | | 69 |

| | | |
|---------------------|------------------|----|
| 2.1 | Kesimpulan | 69 |
| 2.2 | Saran | 70 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | | 71 |
| LAMPIRAN | | 73 |

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|--------------|--|----|
| Gambar 2. 1 | Desain Buoyweather Type II..... | 6 |
| Gambar 2. 2 | Prinsip Hukum Archimedes | 7 |
| Gambar 2. 3 | Ilustrasi Titik Berat Benda | 8 |
| Gambar 2. 4 | Ilustrasi Titik Apung Benda | 9 |
| Gambar 2. 5 | Ilustrasi Titik Metacenter Benda | 9 |
| Gambar 2. 6 | Satbilitas Positif Benda | 10 |
| Gambar 2. 7 | Stabilitas Netral Benda..... | 11 |
| Gambar 2. 8 | Stabilitas Negatif Benda..... | 11 |
| Gambar 2. 9 | Derajat Kebebasan Kapal | 13 |
| Gambar 2. 10 | Hubungan antara Gerak dengan Gelombang | 13 |
| Gambar 2. 11 | Orbit Partikel Gelombang | 22 |
| Gambar 3. 1 | Diagram Alur Pelaksanaan Penelitian Tugas Akhir | 29 |
| Gambar 3. 2 | <i>Redraw</i> Desain Buoyweather Type II Menggunakan AutoCad | 31 |
| Gambar 3. 3 | Diagram Alir Proses Pemodelan Buoy..... | 34 |
| Gambar 3. 4 | Digaram Blok Proses Optimasi Menggunakan PSO | 38 |
| Gambar 3. 5 | Flowchart Algoritma PSO untuk Optimasi Buoy | 40 |
| Gambar 4. 1 | Grafik Repon Gerak <i>Heave Buoyweather</i> di Gelombang Reguler | 47 |
| Gambar 4. 2 | Spektrum Gelombang JONSWAP | 49 |
| Gambar 4. 3 | Kurva Respon Spektra Untuk Buoy Dalam Keadaan Kosong | 50 |
| Gambar 4. 4 | Kurva Respon Spektra Buoy Dengan Pembebanan 50% | 50 |
| Gambar 4. 5 | Kurva Respon Spektra Buoy Dengan Pembebanan 100% | 51 |
| Gambar 4. 6 | RAO Maksimum Pada Buoyweather disetiap Iterasi | 59 |
| Gambar 4. 7 | Grafik RAO Buoyweather Hasil Optimasi..... | 60 |

| | | |
|--------------|---|----|
| Gambar 4. 8 | Kurva Respon Spektrum Buoy Keadaan Kosong Hasil Optimasi..... | 62 |
| Gambar 4. 9 | Kurva Respon Spektra Buoy Pembebanan 50% Hasil Optimasi..... | 62 |
| Gambar 4. 10 | Kurva Respon Spektra Buoy Pembebanan 10% Hasil Optimasi..... | 63 |
| Gambar 4. 11 | Grafik Kenaikan Amplitudo Heave Signifikan sebagai Fungsi Kenaikan Tinggi Gelombang Signifikan Buoy..... | 67 |
| Gambar 4. 12 | Grafik Kenaikan Ampitudo heave Signifikan Sebagai fungsi Kenaikan Tinggi Gelombang signifikan Buoy Pembebanan 50%..... | 67 |
| Gambar 4. 13 | Grafik kenaikan Amplitudo Heave Signifikan sebagai Fungsi Kenaikan Tinggi Gelombang Signifikan Buoy Pembebanan 100% | 68 |

DAFTAR TABEL

| | | |
|-------------|---|----|
| Tabel 2. 1 | Tiga Peringkat Kinerja Wahana Apung | 7 |
| Tabel 2. 2 | Tabel Kriteria Uji Stabilitas IMO | 12 |
| Tabel 2. 3 | Klasifikasi Tingkatan (<i>sea state</i>) Gelombang..... | 20 |
| Tabel 2. 4 | ...Klasifikasi Gelombang Menurut Teori Gelombang Linier..... | 21 |
| Tabel 3. 1 | Standar Stabilitas IMO (<i>Internatinal Maritime Organization</i>) untuk benda terapung | 30 |
| Tabel 3. 2 | Data Spesifikasi <i>Buoyweather Type II</i> dari Hydromax | 32 |
| Tabel 3. 3 | Data Karakteristik Gelombang Sea State 6..... | 33 |
| Tabel 3. 4 | Tabel Batasan Stabilitas IMO | 39 |
| Tabel 4. 1 | Hasil Evaluasi Kriteria Kestabilan Desain <i>Buoyweather Type II</i> Sesuai Kriteria Stabilitas IMO | 43 |
| Tabel 4. 2 | Hasil Pemodelan <i>Buoyweather Type II</i> Secara Numerik | 44 |
| Tabel 4. 3 | Hasil Validasi Pemodelan <i>Buoyweather Type II</i> | 46 |
| Tabel 4. 4 | Harga Stokastik <i>Buoyweather Type II</i> Keadaan Kosong | 52 |
| Tabel 4. 5 | Harga Stokastik <i>Buoyweather Type II</i> Pembebanan 50% | 52 |
| Tabel 4. 6 | Harga Stokastik <i>Buoywetather Type II</i> Pembebanan 100% | 53 |
| Tabel 4. 7 | Hasil Optimasi Dimensi Wahana Apung <i>Buoyweather Type II</i> dalam Keadaan Kosong | 55 |
| Tabel 4. 8 | Hasil Optimasi Dimensi Wahana Apung <i>Buoyweather Type II</i> Pembebanan 50%..... | 56 |
| Tabel 4. 9 | Hasil Optimasi Dimensi Wahana Apung <i>Buoyweather Type II</i> Pembebanan 100%..... | 57 |
| Tabel 4. 10 | Harga Stokastik Buoy Keadaan Kosong Hasil Optimasi..... | 64 |
| Tabel 4. 11 | Harga Stokastik Buoy Pembebanan 50% Hasil Optimasi..... | 64 |

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia sebagai salah satu negara kepulauan terbesar di dunia yang memiliki lebih dari 17.500 pulau dan memiliki garis panjang pantai terpanjang kedua di dunia setelah Kanada yaitu 104.000 km. Oleh sebab itu, 2/3 bagian wilayah Indonesia merupakan wilayah perairan dengan luas wilayah perairan yang mencapai 5,8 juta km². Luas wilayah perairan Indonesia terdiri dari 2 bagian yaitu Zona Ekonomi Eksklusif (ZEE) sebesar 2,7 juta km² dan wilayah laut teritorial sebesar 3,1 juta km², dengan letak geografis seperti diatas otomatis penduduk indonesia sebagian besar melakukan kegiatan di wilayah perairan diantaranya transportasi laut antar pulau, nelayan dll. Namun untuk mendukung kegiatan tersebut sarana dan prasarana di indonesia belum bisa memenuhi. (UNCLOS, 1982)

Berdasarkan data prakiraan mingguan yang didapatkan dari BMKG secara umum perairan Indonesia rata-rata memiliki ketinggian gelombang 0,5 m – 6 m atau terletak pada sea state 3 sampai sea state 6 dengan kecepatan angin 7 – 48 km/jam (BMKG, 2017). Informasi cuaca tersebut memiliki pengaruh besar dalam pelaksanaan transportasi laut sedangkan jumlah stasiun yang ada di Indonesia masih belum mencukupi, maka dari itu diperlukan instrumen tambahan yang dapat memberikan informasi data cuaca secara *real time* sehingga digunakan *maritime buoyweather* sebagai pengganti stasiun yang dapat mendukung informasi prediksi cuaca *maritime* dan indonesia hanya memiliki 1 unit *buoyweather* yang terletak di kepulauan raja ampat. (Syamsul Arifin A. S., 2016)

Buoyweather sendiri merupakan alat yang mengapung dilaut dan memiliki fungsi untuk memonitoring cuaca maritime dan sebagai data pendukung prediksi cuaca maritime sehingga dapat meningkatkan keselamatan transportasi laut. Penelitian terdahulu telah melakukan pemodelan desain wahana apung *buoyweather* type II yang telah diuji di pantai kenjeran yang diketahui memiliki

ketinggian gelombang pada sea state 3 (0,5m -1,25m) namun pada pemodelan desain hanya dilakukan secara tradisional tanpa melalui tahap optimasi. Untuk itu pada penelitian ini dilakukan optimalisasi dimensi wahana apung *buoyweather type II* menggunakan metode *particle swarm optimization* (PSO) agar memiliki desain wahana apung yang tepat dan ekonomis, serta memiliki kestabilan sampai *sea state 6* atau pada kondisi ekstrim.

Beberapa metode optimasi banyak digunakan baik metode konvensional maupun metode modern salah satu metode yang sering digunakan untuk optimasi desain adalah metode *particle swarm optimization* (PSO). Metode PSO tersebut akan digunakan pada penelitian ini dikarenakan pergerakan wahana apung akibat gelombang acak yang *nonlinear*, selain itu juga wahana apung tersebut nantinya berfungsi sebagai sistem peringatan dini sehingga desain wahana apung yang dihasilkan harus paling tepat dan paling optimal kestabilannya. Terdapat beberapa parameter yang digunakan dalam penelitian ini untuk dioptimasi agar diketahui kestabilan dari wahana apung yaitu parameter internal dan parameter eksternal. Untuk parameter internal merupakan desain dari wahana apung itu sendiri meliputi diameter dan ketebalan wahana apung, pergerakan dari wahana apung. Sedangkan parameter eksternal merupakan beban gelombang yang didapatkan *buoyweather*.

1.2 Permasalahan

Berdasarkan latar belakang diatas, permasalahan yang diangkat dalam tugas akhir ini adalah

1. Kriteria apa yang diperlukan untuk mengetahui kestabilan wahana apung ?
2. Apakah *buoyweather type II* sudah memenuhi kriteria kestabilan pada sea state 6 ?
3. Seberapa besar variabel desain hasil optimasi *buoyweather type II* menggunakan *particle swarm optimization* yang memenuhi kriteria ketabilan pada *sea state 6* ?
4. Bagaimana perfomansi desain *buoyweather type II* hasil optimasi menggunakan *particle swarm optimization* ?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan ruang lingkup dari tugas akhir ini adalah

1. Obyek pengujian menggunakan *buoyweather* yang sudah ada dengan geometri *hammer* yaitu *buoyweather type II*.
2. Parameter yang akan diubah-ubah adalah diameter dan ketinggian wahana apung *buoyweather type II* untuk mendapat dimensi bangunan apung yang memenuhi kriteria kestabilan.
3. Metode yang digunakan untuk proses optimalisasi adalah *particle swarm optimization* (PSO).
4. Variabel desain yang digunakan sebagai parameter yang diubah pada proses optimasi dimensi adalah diameter dan ketebalan wahana apung *buoyweather type II*.
5. Optimasi dilakukan pada *buoyweather type II* dalam keadaan kosong.
6. Beban lingkungan yang digunakan adalah beban gelombang dengan arah kedatangan 0° .
7. Analisis respon gerak dilakukan pada 1 arah gerak yaitu *heave*
8. Analisis spektra dilakukan untuk mengetahui respon struktur di gelombang acak.
9. Analisis respon gerak dan analisis spektra dilakukan terhadap 3 variasi keadaan *buoy* yaitu kosong, pembebanan 50% dan pembebanan 100%
10. Spektrum gelombang acak yang digunakan menggunakan kriteria gelombang pada sea state 6.
11. Spektrum gelombang acak diformulasikan menggunakan formulasi spektrum gelombang JONSWAP.
12. Optimasi dilakukan menggunakan bantuan software MATLAB.

1.4 Tujuan

Berdasarkan pemaparan latar belakang dan permasalahan maka tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah

1. Mengetahui kriteria apa saja yang dibutuhkan untuk mencapai kestabilan pada wahana apung *buoyweather*.

2. Mengetahui perfomansi kestabilan wahana apung *buoyweather type II* yang sudah ada saat berada pada sea state 6.
3. Mendapatkan besar variabel desain hasil optimasi *buoyweather type II* menggunakan PSO yang memiliki kestabilan pada sea state 6.
4. Mendapatkan perfomansi desain *buoyweather type II* hasil optimasi menggunakan PSO

1.5 Manfaat

Berdasarkan tujuan diatas maka manfaat dari tugas akhir ini adalah untuk mendapatkan desain dan dimensi wahana apung *buoyweather type II* yang tepat dan optimal agar performansi wahana apung *buoyweather* juga dapat mecapai kestabilan pada *sea state 6* atau pada kondisi ekstrim dengan melalui tahap optimasi desain menggunakan *particel swarm optimization*.

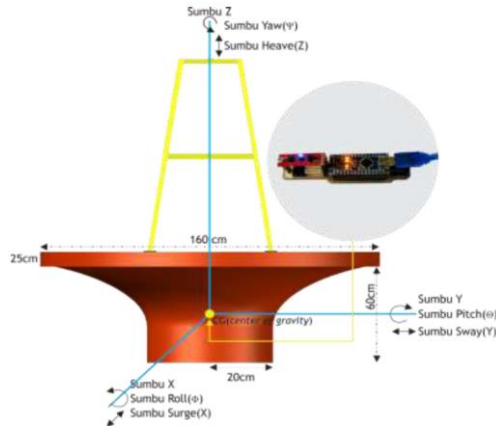
BAB II

TEORI PENUNJANG

2.1 *Buoyweather*

Buoyweather merupakan alat yang mengapung dilaut lepas dan berfungsi untuk *monitoring* cuaca maritim di perairan tertentu. Konfigurasi sistem *buoyweather* terdiri dari beberapa komponen yaitu sistem *monitoring*, sistem transmisi data, *buoyweather*, dan sistem akuisi data. Sedangkan untuk *buoyweather* sendiri terdiri atas beberapa komponen diantaranya adalah wahana apung, beberapa sensor pengukuran cuaca, dan penyangga instrumen. Terdapat beberapa sensor pengukuran pada *buoyweather* yaitu sensor kelembaban udara, sensor suhu, sensor tekanan udara, sensor arah angin, dan sensor kelajuan angin.

Wahana apung *buoyweather* merupakan salah satu bagian penting pada *buoyweather* karena berfungsi sebagai tempat penompang instrumen pengukuran cuaca yang mengapung. Sedangkan pada umumnya wahana apung memiliki kestabilan netral jika berada pada sudut kemiringan 40° dan akan terbalik pada sudut kemiringan 72°. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Syamsul Arifin telah dilakukan perancangan desain wahana apung *buoyweather* dengan instrumen pengukuran yang terpasang pada *buoyweather* yang diberi nama *buoyweather type II* dan telah dilakukan uji kestabilan dan peformansi *buoyweather* di pantai kenjeran. Berikut adalah desain *buoyweather type II* yang sudah ada :



Gambar 2. 1 Desain *Buoyweather* Type II (Syamsul Arifin A. S., 2016)

2.2 Geometri Wahana Apung *Buoyweather*

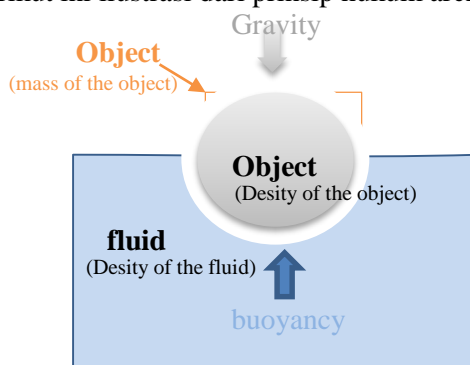
Wahana apung memiliki beberapa geometri sesuai dengan kegunaan *buoyweather* tersebut. Wahana apung yang diletakkan di perairan dangkal biasanya memiliki diameter yang lebih kecil daripada wahana apung yang diletakkan di perairan dalam. Terdapat 2 cara peletakan wahana apung yaitu ditambatkan dan tidak ditambatkan (mengapung bebas), untuk *buoyweather* dengan diameter kecil biasanya hanya ditambatkan menggunakan rantai. Geometri dari wahana apung *buoyweather* harus memiliki daya apung yang stabil serta seakeeping yang dapat bertahan di perairan dalam. Wahana apung tersebut juga harus memiliki kekuatan untuk menahan beban lingkungan baik beban gelombang, beban angin maupun beban arus. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Wibowo harso nugroho telah didapatkan hasil uji kestabilan dari beberapa geometri wahana apung *buoyweather*. Hasil uji penelitian tersebut menyatakan bahwa geometri wahana apung yang memiliki kestabilan adalah wahana apung dengan geometri *hammer*. Berikut adalah tabel hasil uji dari beberapa geometri wahana apung *buoyweather* :

Tabel 2. 1 Tiga Peringkat Kinerja Wahana Apung (Arifin, 2015)

| Peringkat | Uji Stabilitas | Gaya Hambat | Gerak Roll | Gerak Heave |
|-----------|-----------------|-------------------|--------------|--------------|
| 1 | Hammer | Kapsul horizontal | Hammer | Sepuluh Bola |
| 2 | Balon Udara | Sepuluh Bola | Sepuluh Bola | Hammer |
| 3 | Kapsul Vertikal | Hammer | Balon Udara | Silinder |

2.3 Kestimbangan Benda Terapung

Hukum *Archimedes* menyatakan bahwa setiap benda yang terendam didalam air mengalami gaya apung yang bekerja vertikal ke atas yang bersesuaian dengan berat zat cair yang berpindah dari benda. Berikut ini ilustrasi dari prinsip hukum archimedes :

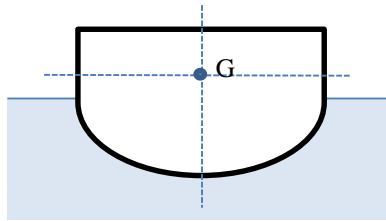
**Gambar 2. 2** Prinsip Hukum *Archimedes*

Suatu benda dikatakan dalam keadaan setimbang jika resultan gaya dan resultan momen yang bekerja pada benda tersebut sama dengan nol. Jika benda tersebut diberi gaya luar (diusik) dan benda tersebut dapat kembali ke keadaan setimbangnya maka benda tersebut dikatakan stabil (Sugianto, 2012). Benda dikatakan terapung apabila gaya apung lebih benda lebih besar daripada gaya berat benda.

2.4 Titik Penting Kesetimbangan Benda Terapung

2.4.1 Titik Berat

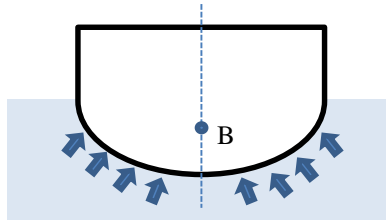
Titik berat (*center of gravity*) dikenal dengan titik G dari sebuah benda terapung, merupakan titik tangkap dari semua gaya-gaya yang menekan ke bawah terhadap benda terapung (Sugianto, 2012). Letak titik G pada benda terapung dapat diperoleh dengan menghitung pusat massa dari benda terapung. Sehingga dapat dikatakan bahwa letak titik G tidak akan berubah ketika tidak terjadi perubahan letak pembebanan meskipun benda terapung dalam keadaan oleng atau mengguk. Berikut ini ilustrasi titik berat dari benda terapung :



Gambar 2. 3 Ilustrasi Titik Berat Benda

2.4.2 Titik Apung

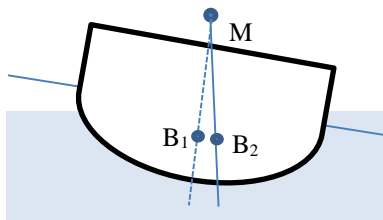
Titik apung (*center of buoyancy*) dikenal dengan titik B sebuah benda terapung, merupakan titik tangkap semua gaya-gaya yang menekan ke atas terhadap pembebanan kapal. Letak titik apung berubah tergantung pada perubahan permukaan benda yang terendam dalam air (Sugianto, 2012). Titik apung akan berpindah mengikuti arah kemiringan kapal untuk memberikan gaya balik ke atas agar benda terapung tersebut dalam kembali tegak setelah mengalami kemiringan atau oleng. Berikut ini ilustrasi titik apung dari benda terapung :



Gambar 2. 4 Ilustrasi Titik Apung Benda

2.4.3 Titik Metacenter

Titik metasenter atau dikenal dengan titik M sebuah benda terapung, merupakan titik diagonal dari benda apung itu sendiri. Benda terapung dikatakan memiliki kestabilan positif jika titik metasenter tersebut melebihi titik berat benda tersebut. Untuk sudut kemiringan yang kecil benda terapung memiliki titik apung yang bergerak disepanjang busur dimana titik metasenter merupakan pusatnya (Sugianto, 2012). Berikut ini ilustrasi titik metasenter dari benda terapung :



Gambar 2. 5 Ilustrasi Titik Metacenter Benda

Titik metacenter benda dapat dicari menggunakan persamaan berikut :

$$M = \frac{I_o}{V} - (KG - KB) \quad (2.1)$$

Dimana :

M = metacenter

I_o = momen inersia tampang benda yang terpotong zat cair

V = volume zat cair yang dipindahkan benda

KB = titik apung benda

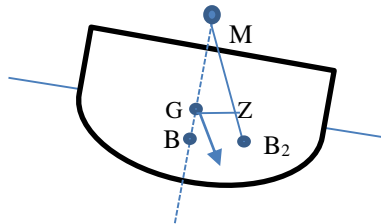
KG = titik berat benda

2.5 Stabilitas Benda Terapung

Setiap benda terapung dikatakan memiliki kestabilan jika benda terapung tersebut dapat kembali ke posisi semula saat mengalami kemiringan akibat gangguan dari luar maupun dari dalam benda terapung. Menurut Taylor (1997) keadaan stabilitas benda terapung dibagi menjadi 3, yaitu :

a. Stabilitas positif

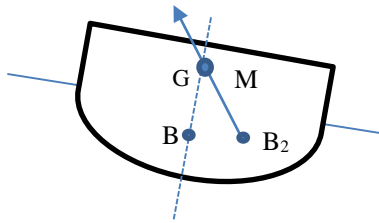
Stabilitas positif adalah kondisi dimana benda terapung dapat kembali tegak ke posisi semula setelah mengalami kemiringan atau oleng akibat gangguan yang terjadi (Sugianto, 2012). Pada kondisi ini titik pusat berat (G) berada dibawah titik metacenter (M) atau dapat dikatakan benda terapung memiliki metacenter positif dengan lengan penegak (GZ) positif sehingga mampu mengembalikan benda terapung ke posisi semula. Berikut ini ilustrasi dari kondisi stabilitas positif benda terapung :



Gambar 2. 6 Stabilitas Positif Benda

b. Stabilitas netral

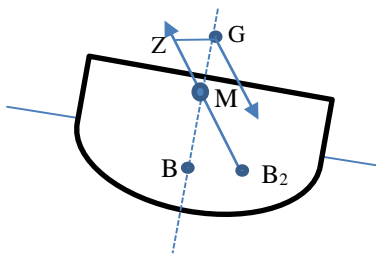
Stabilitas netral adalah kondisi dimana benda terapung tidak mengalami kemiringan jika diberi gangguan atau posisi tetap tidak berubah ke posisi semula ataupun bergerak ke arah kemiringan (Sugianto, 2012). Pada kondisi ini titik berat (G) berimpit dengan titik metacenter (M) dan tidak dihasilkan lengan penegak (GZ). Berikut ini ilustrasi dari kondisi stabilitas netral benda terapung :



Gambar 2. 7 Stabilitas Netral Benda

c. Stabilitas negatif

Stabilitas negatif adalah kondisi dimana benda terapung tidak dapat kembali ke posisi tegak semula setelah mengalami kemiringan akibat gangguan yang diberikan (Sugianto, 2012). Pada kondisi ini titik berat (G) berada diatas titik metacenter (M) atau dapat dikatakan benda terapung memiliki metacenter negatif dengan lengan penegak negatif yang menyebabkan benda terapung terus bergerak ke arah kemiringan kapal. Berikut ini ilustrasi dari kondisi stabilitas negatif benda terapung :



Gambar 2. 8 Stabilitas Negatif Benda

Selain itu untuk mengetahui stabilitas benda terapung maka diperlukan uji stabilitas dengan mengacu pada standar yang direkomendasikan oleh *International Maritime Organization* (IMO). IMO telah merekomendasikan beberapa kriteria standar untuk uji stabilitas. Kriteria tersebut harus dipenuhi oleh sebuah benda terapung agar memiliki kestabilan saat beroperasi baik di perairan yang dalam (*deep water*) maupun di perairan terbatas

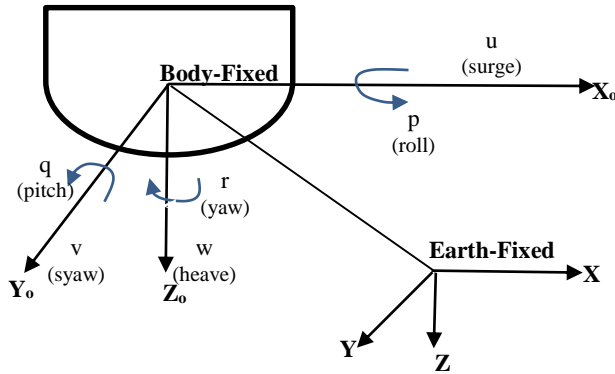
atau beroperasi di sekitar pelabuhan atau di perairan yang dangkal (*restricted and shallow water*). Berikut ini kriteria uji stabilitas yang harus dipenuhi :

Tabel 2. 2 Tabel Kriteria Uji Stabilitas IMO

| Kode IMO | Kriteria | Satuan |
|--|---|--------|
| A.749(18) Ch-3 Design criteria applicable to all ship section 3.1.2.2 | Besar $GZ \geq 2$ m | m |
| A.749(18) Ch-3 Design criteria applicable to all ship section 3.1.2.3 | Sudut maksimum $GZ \geq 25^\circ$ | deg |
| A.749(18) Ch-3 Design criteria applicable to all ship section 3.1.2.4 | Nilai $GM_t \geq 1,5$ m | m |

2.6 Gerakan *Buoyweather*

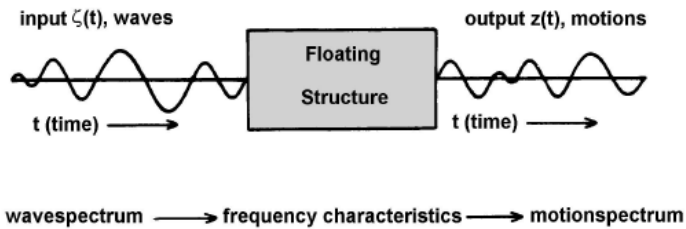
Secara umum gerakan *buoyweather* dapat didefinisikan seperti gerakan pada kapal atau benda terapung lainnya dengan 6 derajat kebebasan. Derajat kebebasan benda terapung atau komponen gerak benda terapung terdiri dari gerak translasi (*surge, heave, yaw*) dan gerak rotasi (*roll, pitch, yaw*) (fossen, 2011). Ilustrasi komponen gerak benda terapung dengan 6 derajat kebebasan dapat dilihat pada gambar 2.9.



Gambar 2. 9 Derajat Kebebasan Benda Terapung

2.6.1 Gerakan *Buoyweather* di Gelombang Reguler

Menurut teori klasik gerakan benda terapung sama dengan gerakan kapal di gelombang reguler yang dapat diformulasikan menggunakan hukum Newton II, yaitu gaya aksi sama dengan gaya reaksi. Gaya aksi di definisikan sebagai gelombang datang yang mengenai benda terapung sedangkan gaya reaksi berupa respon gerakan benda terapung. Berikut ilustrasi relasi antara gaya gelombang datang dengan gerak bangunan apung :



Gambar 2. 10 Hubungan antara Gerak dengan Gelombang
(Djarmiko, 2012)

Sehingga dapat didefinisikan gerakan vertikal *bouyweather* berdasarkan hukum Newton II seperti persamaan dibawah ini :

$$m\ddot{\zeta}_z = F_h + F_w \quad (2.2)$$

Dimana :

M = massa *buoy*

F_h = gaya hidrodinamik pada arah z

F_w = gaya eksitasi gelombang pada arah z

Gaya hidrodinamika yang mengenai *buoy* pada arah z merupakan total gaya reaksi fluida pada osilasi *buoy* yang didefinisikan seperti berikut :

$$F_h = -a\ddot{\zeta}_z - b\dot{\zeta}_z - c\zeta_z \quad (2.3)$$

Sedangkan untuk gaya eksitasi gelombang dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$F_w = a\ddot{\zeta} + b\dot{\zeta} + c\zeta \quad (2.4)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.3) dan (2.4) ke persamaan (2.1), Gerakan vertikal *buoyweather* menjadi :

$$(m + a)\ddot{\zeta}_z + b\dot{\zeta}_z + c\zeta_z = a\ddot{\zeta} + b\dot{\zeta} + c\zeta \quad (2.5)$$

Respon gerak *heave* akibat gaya eksitasi gelombang reguler diberikan seperti dibawah ini :

$$\zeta_z = \zeta_{za} \cos(\omega t + \varepsilon_{z\zeta}) \quad (2.6)$$

$$\dot{\zeta}_z = -\zeta_{za}\omega \sin(\omega t + \varepsilon_{z\zeta}) \quad (2.7)$$

$$\ddot{\zeta}_z = -\zeta_{za}\omega^2 \cos(\omega t + \varepsilon_{z\zeta}) \quad (2.8)$$

Sedangkan elevasi gaya eksitasi gelombang reguler yang mengenai *buoy* dinyatakan sebagai berikut :

$$\zeta = \zeta_a e^{-KT} \cos \omega t \quad (2.9)$$

$$\dot{\zeta} = -\zeta_a e^{-KT} \omega \sin \omega t \quad (2.10)$$

$$\ddot{\zeta} = -\zeta_a e^{-KT} \omega^2 \cos \omega t \quad (2.11)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.6) sampai (2.8) dan (2.9) sampai (2.11) ke persamaan (2.5), maka gerakan vertikal *buoyweather* menjadi :

$$\begin{aligned} (m + a)(-\zeta_{za}\omega^2 \cos(\omega t + \varepsilon_{z\zeta})) + b(-\zeta_{za}\omega \sin(\omega t + \varepsilon_{z\zeta})) + \\ c(\zeta_{za} \cos(\omega t + \varepsilon_{z\zeta})) = a(-\zeta_a e^{-KT} \omega^2 \cos \omega t) + \\ b(-\zeta_a e^{-KT} \omega \sin \omega t) + c(\zeta_a e^{-KT} \cos \omega t) \end{aligned} \quad (2.12)$$

Atau

$$\zeta_{za}\{c - (m + a)\omega^2\} \cos(\omega t + \varepsilon_{z\zeta}) - \zeta_{za}\{b\omega\} \sin(\omega t + \varepsilon_{z\zeta}) = \zeta_a e^{-KT}\{c - a\omega^2\} \cos \omega t - \zeta_a e^{-KT}\{b\omega\} \sin \omega t \quad (2.13)$$

Dengan memisahkan frekuensi sudut dengan fase maka persamaan (2.13) menjadi :

$$\begin{aligned} & \zeta_{za} \left\{ \{c - (m + a)\omega^2\} \cos(\varepsilon_{z\zeta}) - \{b\omega\} \sin(\varepsilon_{z\zeta}) \right\} \cos(\omega t) - \\ & \zeta_{za} \left\{ \{c - (m + a)\omega^2\} \sin(\varepsilon_{z\zeta}) + \{b\omega\} \cos(\varepsilon_{z\zeta}) \right\} \sin(\omega t) = \\ & \zeta_a e^{-KT} \{c - a\omega^2\} \cos \omega t - \zeta_a e^{-KT} \{b\omega\} \sin \omega t \end{aligned} \quad (2.14)$$

Dengan mengelompokkan persamaan kedalam dua fase maka diperoleh dua persamaan berikut dengan dua variabel yang tidak diketahui :

$$\begin{aligned} \zeta_{za} \left\{ \{c - (m + a)\omega^2\} \cos(\varepsilon_{z\zeta}) - \{b\omega\} \sin(\varepsilon_{z\zeta}) \right\} &= \zeta_a e^{-KT} \{c - a\omega^2\} \\ \zeta_{za} \left\{ \{c - (m + a)\omega^2\} \sin(\varepsilon_{z\zeta}) + \{b\omega\} \cos(\varepsilon_{z\zeta}) \right\} &= \zeta_a e^{-KT} \{b\omega\} \end{aligned} \quad (2.15)$$

Dengan menjumlahkan kuadrat dari persamaan (2.15) dan (2.16) maka didapatkan respon gerak *heave buoy* pada gelombang reguler :

$$\frac{\zeta_{za}}{\zeta_a} = e^{-KT} \sqrt{\frac{\{c - a\omega^2\}^2 + \{b\omega\}^2}{\{c - (m + a)\omega^2\}^2 + \{b\omega\}^2}} \quad (2.17)$$

Dimana :

- a = koefisien massa tambah hidrodinamik
- b = koefisien redaman hidrodinamik *heave*
- c = kekakuan hidrostatik *heave*
- m = massa *buoy*
- ω = frekuensi enkounter
- k = koefisien redaman non dimensi
- T = tinggi sarat

Untuk respon gerak *roll buoy* pada gelombang reguler dapat dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$\frac{\zeta_{\phi a}}{\zeta_a} = e^{-KT} \sqrt{\frac{\{c - a\omega^2\}^2 + \{b\omega\}^2}{\{c - (I + a)\omega^2\}^2 + \{b\omega\}^2}} \quad (2.18)$$

Dimana :

- a = koefisien momen inersia tambah hidrodinamik
- b = koefisien redaman hidrodinamik *roll*
- c = kekakuan hidrostatik *roll*
- I = momen inersia *buoy*

ω = frekuensi enkonter

k = koefisien redaman non dimensi

T = tinggi sarat

Respon gerak *heave* pada gelombang reguler merupakan karakteristik dari gerakan *buoy* itu sendiri terhadap gelombang reguler yang mengenai *buoy*. Karakteristik gerakan *buoy* tersebut biasanya disebut sebagai *response amplitude operator* (RAO). RAO menyatakan perbandingan antara amplitudo gerak dengan amplitudo gelombang. Persamaan RAO dinyatakan seperti persamaan berikut ini :

$$RAO \text{ heave} = \frac{\zeta_{za}}{\zeta_a} = e^{-KT} \sqrt{\frac{\{c-a\omega^2\}^2 + \{b\omega\}^2}{\{c-(m+a)\omega^2\}^2 + \{b\omega\}^2}} \quad (2.19)$$

Dan

$$RAO \text{ roll} = \frac{\zeta_{\phi a}}{\zeta_a} = e^{-KT} \sqrt{\frac{\{c-a\omega^2\}^2 + \{b\omega\}^2}{\{c-(1+a)\omega^2\}^2 + \{b\omega\}^2}} \quad (2.20)$$

2.6.1.1 Kekakuan Hidrostatik

Kekakuan hidrostatik merupakan salah satu parameter dari persamaan gerak bangunan apung yang menghubungkan gaya dengan *displacement*. Kekakuan ini dapat terjadi karena adanya suatu faktor gelombang yang telah mmempengaruhi struktur suatu benda apung. Adapun gerakan yang terpengaruh gelombang sehingga struktur *buoy* memiliki sebuah kekakuan hidrostatik adalah gerakan *heave*, *pitching* dan *rolling*. Karena bentuk *buoy* yang digunakan memiliki bentuk simetris, maka kekakuan hidrostatik untuk *pitching* dan *rolling* adalah sama. Pada tugas akhir ini hanya dibahas tentang pada gerakan *heave* dan *roll*. Berikut ini adalah persamaan kekakuan hidrostatik untuk gerakan *heave*,

$$c = \rho g \sum A_w \quad (2.21)$$

Dimana,

c = kekakuan hidrostatik *heave*

ρ = massa jenis air (kg/m^3)

A_w = luas garis air (luas permukaan *buoy* yang berada di air)
 m^2

Sedangkan persamaan kekakuan hidrostatik untuk gerakan *roll* dinyatakan seperti berikut :

$$c = \rho g \nabla G M_T \quad (2.22)$$

Dimana,

c = kekakuan hidrostatik *roll*

ρ = massa jenis air (kg/m^3)

∇ = volume *displacement*

$G M_T$ = tinggi metasenter transversal

2.6.1.2 Redaman Hidrodinamik

Redaman dapat dideskripsikan sebagai sesuatu yang dapat membuang atau menurunkan energi dari suatu respon akibat pergerakan suatu benda. Nilai redaman c dapat dicari seperti pada persamaan berikut (Fajar, 2008),

$$b = 10\% \cdot b_r \quad (2.23)$$

$$b_r = 2 \cdot \sqrt{c \cdot m} \quad (2.24)$$

sehingga,

$$b = 10\% \cdot 2 \cdot \sqrt{c \cdot m} \quad (2.25)$$

2.6.2 Gerakan *Buoyweather* di Gelombang Acak

2.6.2.1 Spektrum Gelombang

Pada kondisi rill gelombang yang terjadi di perairan adalah gelombang acak. Gelombang acak sendiri merupakan superposisi dari beberapa gelombang reguler yang dinyatakan dalam spektrum gelombang. Bentuk formulasi mengenai spektra gelombang sudah banyak berkembang salah satunya adalah formulasi spektra JONSWAP yang akhir-akhir ini banyak digunakan oleh beberapa peneliti untuk melakukan analisis perilaku bangunan apung di perairan Indonesia. Pada penelitian ini sebagai gelombang uji digunakan karakteristik gelombang pada sea state 6 sebagai parameter yang akan dimasukkan dalam formulasi spektra gelombang. Berikut bentuk persamaan untuk spektra JONSWAP yang digunakan (J.M.J Journee, 2001) :

$$S_\zeta(\omega) = \frac{320 H_{1/3}^2}{T_p} \omega_c^{-5} \exp \left\{ \frac{-1950}{T_p^4} \omega_c^{-4} \right\} \gamma^A \quad (2.26)$$

Dimana :

$\gamma = 3,3$ (parameter ketinggian)

$$A = \exp \left\{ - \left(\frac{\frac{\omega_c}{\omega_p} - 1}{\sigma \sqrt{2}} \right)^2 \right\}$$

$$\omega_p = \frac{2\pi}{T_p}$$

σ = parameter bentuk

$\sigma = 0,07$ jika $\omega_c < \omega_p$

$\sigma = 0,09$ jika $\omega_c > \omega_p$

2.6.2.2 Respon Sepktrum

Respon bangunan apung di gelombang acak dinyatakan dalam respon spektrum dengan mentransformasikan energi gelombang menjadi energi respon yaitu dengan cara mengkalikan antara nilai kuadrat respon bangunan apung (RAO^2) dengan nilai spektrum gelombang $S_\zeta(\omega)$. Berikut persamaan untuk mendapatkan respon spektra bangunan apung :

$$S_{\zeta r}(\omega) = RAO^2 x S_\zeta(\omega) \quad (2.27)$$

Setelah didapatkan respon spektra dilakukan analisis dengan menentukan momen (m_n) dan luasan spektra dengan menggunakan persamaan berikut :

$$m_n = \int_0^\infty \omega^n S_\zeta(\omega) d\omega \quad (2.28)$$

Berdasarkan hasil tersebut dapat diperoleh harga-harga stokastik dari respon gerak terhadap gelombang acak diantaranya frekuensi rata-rata gelombang acak, periode rata-rata gelombang acak, periode puncak gelombang rata-rata, periode simpangan nol rata-rata, amplitudo gerak signifikan, amplitudo gerak rata-rata, 1/10 amplitudo gerak dan amplitudo gerak ekstrim. Frekuensi rata-rata dari gelombang acak diperoleh dari persamaan :

$$\bar{\omega} = m_1/m_0 \quad (2.29)$$

Periode gelombang rata-rata gelombang acak yang merupakan inversi frekuensi rata-rata diperoleh sebagai berikut :

$$\bar{T} = 2\pi m_0/m_1 \quad (2.30)$$

Berdasarkan penelitian dari Ochi&Bolton (1973) formulasi karakteristik periode gelombang yang lain kemudian telah disampaikan, yakni untuk periode puncak gelombang rata-rata dapat dituliskan :

$$\overline{T_p} = 2\pi\sqrt{m_2/m_4} \quad (2.31)$$

Dan periode simpangan nol rata-rata diberikan :

$$\overline{T_z} = 2\pi\sqrt{m_0/m_2} \quad (2.32)$$

Dari penelitian lanjut oleh Cartright & Longuet-Higgins (1956) diketahui bahwa tinggi gelombang signifikan mempunyai hubungan spesifik dengan varian elevasi gelombang. Berikut persamaan untuk tinggi gelombang signifikan :

$$H_s = 4.00\sqrt{1 - \varepsilon^2/2}x\sqrt{m_0} \quad (2.33)$$

Dimana :

ε = bandwidth parameter (wide band = 1.0, narrow band=0.0)

Sehingga untuk persamaan tinggi gelombang rata-rata menjadi :

$$H_{av} = 2.50\sqrt{m_0} \quad (2.34)$$

Disamping itu kemudian juga telah diturunkan korelasi antara tinggi gelombang 1/10 tertinggi dengan tinggi gelombang signifikan seperti dibawah ini :

$$H_{1/10} = 5.08\sqrt{m_0} \quad (2.35)$$

2.7 Gaya Gelombang

Gelombang merupakan beban lingkungan yang pengaruhnya besar dalam respon bangunan apung di perairan. Menurut Price dan Bishop gelombang berdasarkan ketinggiannya dibedakan menjadi beberapa tingkatan (sea state) dan jenis seperti pada tabel dibawah ini :

Tabel 2. 3 Klasifikasi Tingkatan (*sea state*) Gelombang (fossen, 2011)

| Kode sea state | Tipe Laut | Ketinggian Gelombang (m) |
|----------------|----------------------|--------------------------|
| 0 | Calm (glassy) | 0 |
| 1 | Calm (rippled) | 0-0.1 |
| 2 | Smooth (wavelets) | 0.1-0.5 |
| 3 | Slight | 0.5-1.25 |
| 4 | Moderate | 1.25-2.5 |
| 5 | Rough | 2.5-4.0 |
| 6 | Very rough | 4.0-6.0 |
| 7 | High | 6.0-9.0 |
| 8 | Very high | 9.0-14.0 |
| 9 | Phenomenal | Over 14.0 |

Sedangkan pada penelitian ini karakteristik gelombang yang digunakan adalah karakteristik gelombang pada sea state 6. Perkembangan penelitian mengenai gerakan bangunan apung akibat beban gelombang sudah banyak dilakukan dengan Froude (1861) sebagai pencetus pertama dasar teori gerak kapal dengan menunjukkan metode analisa gerak roll terhadap kapal terapung diatas gelombang sisi atau *beam seas*. Kemudian 35 tahun kemudian Krylov(1896) mengemukakan analisisnya mengenai gerak pitch dan roll terhadap kapal akibat beban gelombang yang kemudian juga memberikan teori dasar gerak kapal dalam mode 6 derajat kebebasan.

Dalam hipotesanya, Forude dan Krylov menerapkan asumsi bahwa keberadaan kapal tidak mempengaruhi perubahan medan tekanan dari gelombang induksi. Dengan demikian gaya-gaya gelombang yang bekerja pada kapal atau bangunan apung dapat diperoleh dengan mengintegrasikan distrubusi tekanan gelombang F_w pada benda yang diam. Sedangkan gaya induksi oleh gelombang sendiri merupakan penjumlahan dari gaya gelombang insiden F_I dan gaya gelombang difraksi F_D . Gaya gelombang induksi biasanya dikenal sebagai gaya eksitasi gelombang yang

besarnya bervariasi linier terhadap perubahan waktu, sehingga dapat dituliskan sebagai berikut :

$$F_w = (F_I + F_D)e^{-i\omega t} \quad (2.36)$$

2.7.1 Klasifikasi Gelombang Menurut Teori Gelombang Linier

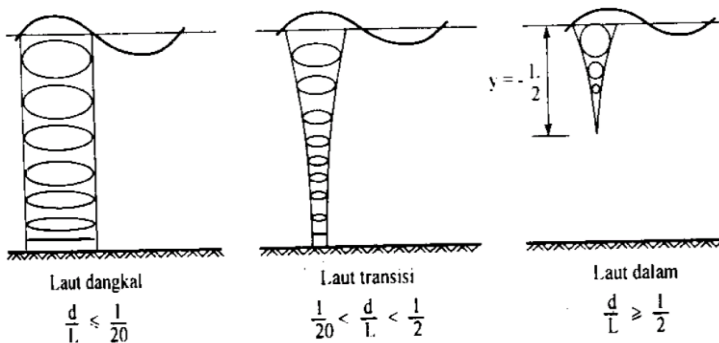
Berdasarkan kedalaman relatif, yaitu perbandingan antara kedalaman air dan panjang gelombang L , (d/L), gelombang dapat diklasifikasikan menjadi tiga macam, yaitu gelombang laut dangkal, gelombang laut transisi, dan gelombang laut dalam.

Tabel 2. 4 Klasifikasi Gelombang Menurut Teori Gelombang Linier (Djarmiko, 2012)

| Keterangan | Gelombang di Laut Dangkal | Gelombang di Laut Transisi | Gelombang di Laut Dalam |
|-----------------------------|---|--|---|
| d/L | $d/L < 1/20$ | $1/20 < d/L < 1/2$ | $d/L > 1/2$ |
| Angka Gelombang | $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ | $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ | $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ |
| Profil Gelombang | $\zeta = \zeta_o \sin(\omega t - kx)$ | $\zeta = \zeta_o \sin(\omega t - kx)$ | $\zeta = \zeta_o \sin(\omega t - kx)$ |
| Periode Gelombang | $T = \frac{2\pi}{\omega}$ | $T = \frac{2\pi}{\omega}$ | $T = \frac{2\pi}{\omega}$ |
| Panjang Gelombang | $\lambda = T\sqrt{gd}$ | $\lambda = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left[\frac{2\pi d}{L}\right]$ | $\lambda = 1,56T^2$ |
| Kecepatan Gelombang | $c = \frac{\lambda}{T}$ | $c = \frac{\lambda}{T}$ | $c = \frac{\lambda}{T}$ |
| Profil kemiringan gelombang | $\alpha = \alpha_0 \cos(\omega t - kx)$ | $\alpha = \alpha_0 \cos(\omega t - kx)$ | $\alpha = \alpha_0 \cos(\omega t - kx)$ |

| Keterangan | Gelombang di Laut Dangkal | Gelombang di Laut Transisi | Gelombang di Laut Dalam |
|-------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Amplitudo kemiringan gelombang | $\alpha_0 = k\zeta_0$ | $\alpha_0 = k\zeta_0$ | $\alpha_0 = k\zeta_0$ |
| Energi gel. Per unit luas permukaan | $E = \frac{1}{2}\rho g\zeta_0^2$ | $E = \frac{1}{2}\rho g\zeta_0^2$ | $E = \frac{1}{2}\rho g\zeta_0^2$ |

Dalam gambar 2.11 Berikut ditunjukkan pola orbit partikel gelombang diperairan dangkal ($\frac{d}{L} < \frac{1}{20}$), perairan transisi ($\frac{1}{20} < \frac{d}{L} < \frac{1}{2}$), dan perairan dalam ($\frac{d}{L} > \frac{1}{2}$). Bentuk orbit partikel gelombang yang ditunjukkan pada gambar berikut, untuk perairan dangkal dan transisi memiliki bentuk elips sedangkan untuk perairan dalam berbentuk lingkaran.

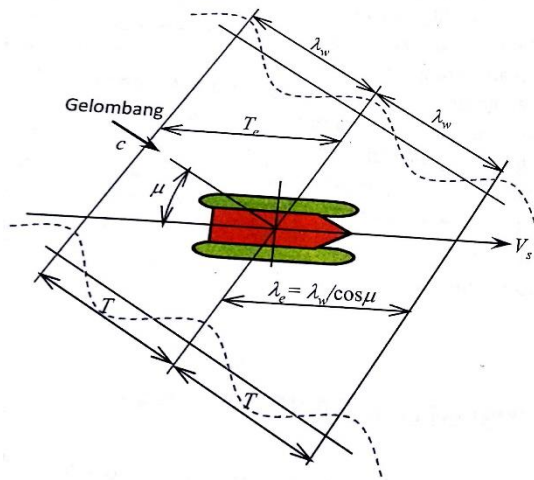


Gambar 2. 11 Orbit Partikel Gelombang (Djatismiko, 2012)

2.7.2 Frekuensi Gelombang Papasan (*Frequency Encounter*)

Frekuensi gelombang merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi perilaku dari bangunan laut yang ditinjau pada satu titik diam atau stasioner dalam propagasi gelombang, karena berdasarkan distribusi frekuensi rill gelombang tersebut

dapat dilakukan perhitungan parameter hidrodinamika dari bangunan laut. Namun untuk bangunan laut yang bergerak frekuensi gelombang yang mengenai bangunan laut berubah-ubah, dimana perubahan frekuensi tersebut akibat adanya kecepatan relatif antara gelombang dengan bangunan laut. Frekuensi gelombang yang berubah akibat gelombang berpapasan dengan bangunan laut disebut dengan frekuensi papasan atau *frequency encounter*. Berikut ilustrasi frekuensi papasan pada bangunan laut:



Gambar 2. 12 Ilustrasi bangunan laut melaju diatas gelombang dengan arah u (Djatkiko, 2012)

Mengacu pada gambar 2.12 Bhattacharyya menjelaskan bahwa bangunan laut yang melaju dengan kecepatan V_s diatas gelombang yang berpropagasi dengan sudut u dan berkecepatan c , maka komponen V_s dapat dinyatakan dengan $V_s \cos u$ sedangkan untuk kecepatan relatif antara bangunan laut dan gelombang dinyatakan dengan $c - V_s \cos u$. Untuk periode gelombang papasan dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$T_c = \frac{\lambda_w}{c - V_s \cos \mu} \quad (2.37)$$

Periode gelombang adalah merupakan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai satu kali gelombang, yang jika dihubungkan

dengan panjang gelombang mempunyai korelasi sebagai $\lambda_w = c \times T$. Sehingga persamaan 2.37 menjadi :

$$T_c = \frac{c \times T}{c - V_s \cos \mu} = \frac{T}{1 - (V_s/c) \cos \mu} \quad (2.38)$$

Bila persamaan 2.38 dibalik menjadi frekuensi papasan adalah :

$$\frac{2\pi}{\omega_c} = \frac{2\pi/\omega}{1 - (V_s/c) \cos \mu} \quad (2.39)$$

Atau

$$\omega_c = \omega \left(1 - \frac{V_s}{c} \cos \mu \right) \quad (2.40)$$

2.8 Koefisien Hidrodinamika Benda Apung

2.8.1 Koefisien Blok (C_B)

Koefisien blok (C_B) adalah perbandingan antara volume badan kapal yang tercelup dalam air dibanding volume blok dengan panjang kapal (L_{pp}), lebar kapal (B), dan tinggi (H). Untuk mencari koefisien blok dengan persamaan 2.41 :

$$C_B = \frac{\nabla}{L \times B \times T} \quad (2.41)$$

Dimana :

L = panjang (meter)

B = lebar (meter)

T = sarat kapal (meter)

C_B = *block coefficient*

2.8.2 Panjang Kapal (L_{pp})

Panjang kapal (L_{pp}) memiliki pengaruh pada kecepatan, tahanan dan *maneuverability*. Apabila panjang kapal lebih besar maka tahanan kapal, kecepatan kapal, dan *maneuverability* kecil. Sedangkan jika ukuran panjang kapalnya lebih kecil maka tahanan kapal, kecepatan kapal, dan *maneuverability* besar.

2.8.3 Lebar Kapal (B)

Lebar kapal (B) memiliki pengaruh pada tinggi *metacenter* kapal. Penambahan lebar kapal biasanya digunakan untuk penambahan volume ruangan pada badan kapal dan juga memiliki efek berkurangnya kemampuan dalam penggunaan fasilitas terusan, dok, dan galangan.

2.8.4 Tinggi Kapal (H)

Tinggi kapal (H) memiliki pengaruh pada tinggi titik berat kapal (*center of gravity*). Penambahan ketinggian kapal pada umumnya akan menyebabkan kenaikan nilai titik berat kapal, sedangkan nilai *metacenter* kapal akan berkurang.

2.8.5 Sarat Kapal (T)

Sarat kapal (T) memberikan pengaruh pada tinggi *center of bouancy* (K_B). Dengan *displacement*, panjang, dan lebar yang tetap, penambahan nilai sarat umumnya akan menyebabkan naiknya nilai K_B .

2.8.6 Displacement

Displacement merupakan jumlah air yang dipindahkan oleh bagian kapal yang tenggelam dalam. Koefisien hidrodinamika ini dikenal juga dengan *mass displacement* yang merupakan satuan gaya (ton). Secara matematis *displacement* ditunjukkan pada persamaan 2.42.

$$\Delta(\text{ton}) = L \times B \times T \times C_B \times \rho \quad (2.42)$$

Dimana :

L= panjang (meter)

B = lebar (meter)

T = sarat kapal (meter)

C_B = *block coefficient*

ρ = massa jenis air ($\rho_{\text{air laut}} = 1025 \text{ kg/m}^3$, $\rho_{\text{air tawar}} = 1000 \text{ kg/m}^3$)

2.9 Particle Swarm Optimization (PSO)

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah menggunakan metode *particle swarm optimization* (PSO). Menurut Kennedy dan Eberhart metode PSO ini sendiri merupakan adopsi dari perilaku sekumpulan partikel yang membentuk populasi sebagai contoh sekumpulan burung membentuk populasi untuk mencari makan (Kennedy J, 2007). Tujuan dari PSO adalah mendapatkan posisi dan kecepatan setiap partikel yang lebih baik. Percepatan yang dibobotkan secara acak dengan nomor acak yang

terpisah menghasilkan percepatan kearah yang lebih baik (Kennedy J, 2007).

Antonius Andreas dalam jurnalnya menjelaskan bahwa setiap perubahan waktu, setiap partikel melacak koordinat dalam ruang masalah yang berhubungan dengan solusi terbaik (*fitness*) yang telah dicapai (Antonio C. Caputo, 2008). Nilai *fitness* yang disimpan tersebut dinamakan dengan “pbest”. Nilai best lain yang dilacak oleh versi global PSO adalah nilai keseluruhan partikel yang terbaik dan lokasinya yang diperoleh sejauh ini oleh setiap partikel dalam populasinya. Lokasi tersebut dinamakan “gbest”.

Adapun langkah-langkah yang harus diperhatikan dalam pembuatan algoritma *particle swarm optimization* (PSO) yang telah dijelaskan oleh (Antonio C. Caputo, 2008), yaitu :

1. Menginisialisasi jumlah partikel (p) dengan posisi yang acak dan kecepatan pada dimensi (d) dalam ruang masalah.
2. Setiap partikel mengevaluasi optimalisasi fungsi *fitness* yang diinginkan dalam variabel.
3. Membandingkan evaluasi *fitness* populasi atau partikel dengan partikel pbest. Jika nilai saat ini lebih baik daripada nilai pbest, maka nilai pbest ditetapkan sama dengan nilai saat ini dan lokasi pbest sama dengan lokasi saat ini dalam ruang dimensi d.
4. Membandingkan evaluasi *fitness* dengan evaluasi *fitness* sebelumnya secara keseluruhan populasi tersebut. Jika nilai saat ini lebih baik daripada gbest maka tentukan ulang gbest indeks array dengan nilai tersebut.
5. Mengubah kecepatan dan posisi partikel menurut persamaan (2.43) dan (2.44) dibawah ini :

$$v_j(t) = v_j(t - 1) + c_1 * r_1[p_{best,j} + x_j(t - 1)] + c_2 * r_2[G_{best,j} + x_j(t - 1)] \quad (2.43)$$

$$x_j(t) = x_j(t - 1) + v_j(t) \quad (2.44)$$

Dimana : v_j = kecepatan partikel (m/s)

x_j = posisi partikel (m)

c = faktor koreksi

r = nilai random

t = waktu (s)

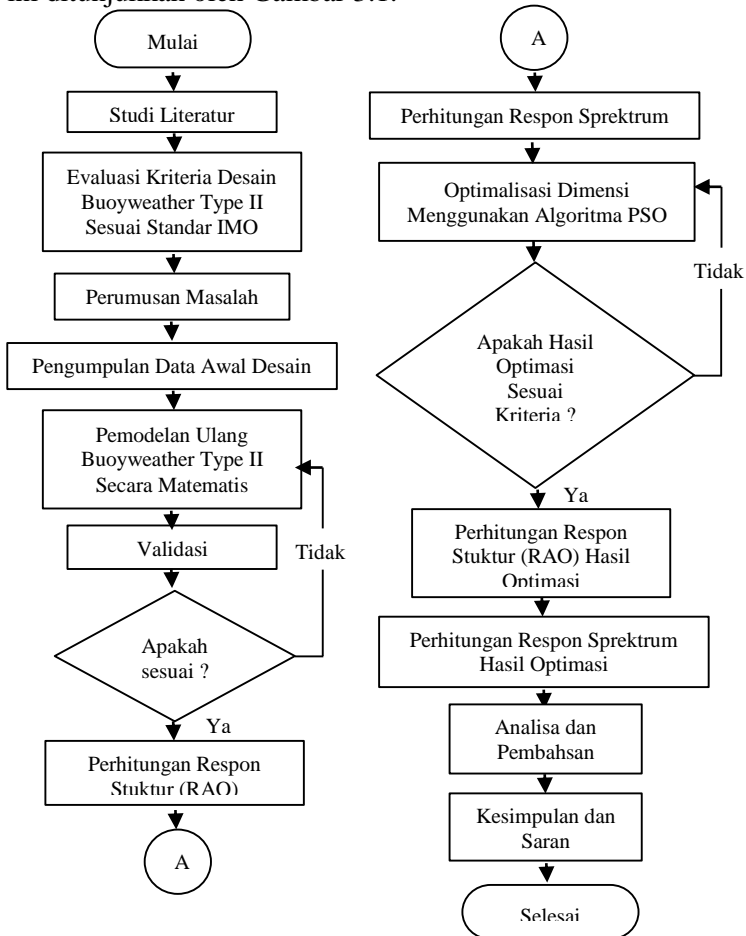
j = indeks partikel ($j=1,2,3,4,\dots$)

6. Ulangi langkah ke-2 sampai mendapatkan kriteria yang diinginkan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Langkah-langkah dalam pelaksanaan penelitian tugas akhir ini ditunjukkan oleh Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Diagram Alur Pelaksanaan Penelitian Tugas Akhir

3.1 Studi Literatur

Tahapan studi literatur merupakan tahapan awal dari tugas akhir yang meliputi pemahaman teori mengenai *buoyweather*. Dimulai dengan mereview jurnal dan artikel penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan dimensi buoy dan respon gerak *buoyweather* dilaut. Selain itu juga diperlukan pemahaman teori mengenai proses optimasi dimensi buoy menggunakan algoritma *particle swarm optimization*. Teori didapatkan dari sumber yang berupa jurnal-jurnal penelitian yang sudah pernah dilakukan dan juga studi teoritis dari *handbook* dengan tema respon gerakan bangunan laut di gelombang acak. Penelitian ini dilakukan secara simulasi dengan menggunakan bantuan *software* MATLAB R2009, maka diperlukan pembelajaran tentang pemrograman yang akan dijalankan.

3.2 Evaluasi Kriteria Desain dan Pengumpulan Data

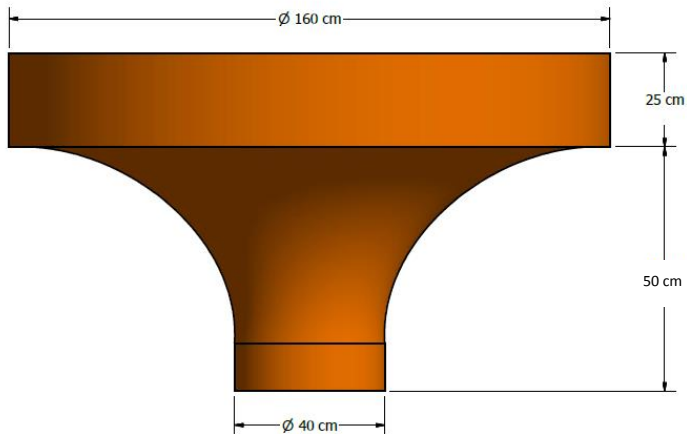
Data spesifikasi *buoyweather type II* yang digunakan meliputi dimensi ukuran *buoy* baik diameter maupun ketebalan wahana apung *buoy*, kemudian data stabilitas statis berdasarkan hasil running model buoy menggunakan *software hydromax* dari penelitian sebelumnya dievaluasi dengan menggunakan kriteria stabilitas IMO (*International Maritime Organization*). Standar IMO yang digunakan pada penelitian ini dijelaskan pada tabel 3.1 dibawah ini :

Tabel 3. 1 Standar Stabilitas IMO (*Internatinal Martime Organization*) untuk benda terapung (IMO, 2002)

| Kode IMO | Kriteria | Satuan |
|--|---|--------|
| A.749(18) Ch-3 Design criteria applicable to all ship section 3.1.2.2 | Besar GZ ≥ 2 m | m |
| A.749(18) Ch-3 Design criteria applicable to all ship section 3.1.2.3 | Sudut maksimum GZ $\geq 25^\circ$ | Deg |

| Kode IMO | Kriteria | Satuan |
|---|------------------------|--------|
| A.749(18) Ch-3 Design criteria applicable to all ship section | Nilai GMt $\geq 1,5$ m | m |
| 3.1.2.4 | | |

Desain serta dimensi *buoyweather* dari penelitian sebelumnya di gambar ulang menggunakan *AutoCad*. Berikut ini hasil desain *buoyweather type II* yang ada menggunakan *AutoCad* :



Gambar 3. 2 Redraw Desain *Buoyweather Type II* Menggunakan *AutoCad*

Desain *buoyweather* dapat dilihat pada gambar 3.2 yaitu berbentuk *hammer* dengan 2 silinder simetris yang ditumpuk. Rincian spesifikasi wahana apung *buoyweather* dapat dilihat pada tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Data dimensi *Buoyweather Type II*

| Buoy parameter | Nilai |
|---------------------------------|-------------------------|
| Diameter silinder 1 (D1) | 1,6 m |
| Diamater silinder 2 (D2) | 0,4 m |
| Ketinggian silinder 1 (L1) | 0,25 m |
| Ketinggian silinder 2 (L2) | 0,5 m |
| Massa jenis material | 860 kg/m ³ |
| <i>Modulus Young</i> (E) | 3.5 Gpa |
| <i>Tensile Strength</i> (Yield) | 100 Mpa |
| Massa jenis air laut | 1.025 kg/m ³ |

Tabel 3.1 dibawah ini merupakan hasil *running* desain *buoyweather type II* menggunakan *hydromax* yang didapatkan dari penelitian sebelumnya. (Mujahid, 2016)

Tabel 3. 3 Data Spesifikasi *Buoyweather Type II* dari *Hydromax*

| Kriteria | nilai |
|------------------------------|--------------|
| Displacement (ton) | 0.0980 |
| Sarat FP (m) | 0.478 |
| Sarat AP (m) | 0.478 |
| Panjang WL (m) | 0.911 |
| Kedalaman | 0.478 |
| WL Beam m | 0.910 |
| Luas batas air | 0.652 |
| Koefisien Prismatic | 0.256 |
| Koefisien Blok | 0.137 |
| LCB dari Amidsh. (+ve fwd) m | 0.000 |
| VCB dari DWL m | -0.173 |
| GZ m | 0.000 |

Selain data desain diperlukan juga data lingkungan atau data gelombang uji. Berikut data gelombang dengan karakteristik *sea state* 6 yang digunakan pada penelitian ini :

Tabel 3. 4 Data Karakteristik Gelombang *Sea State 6*

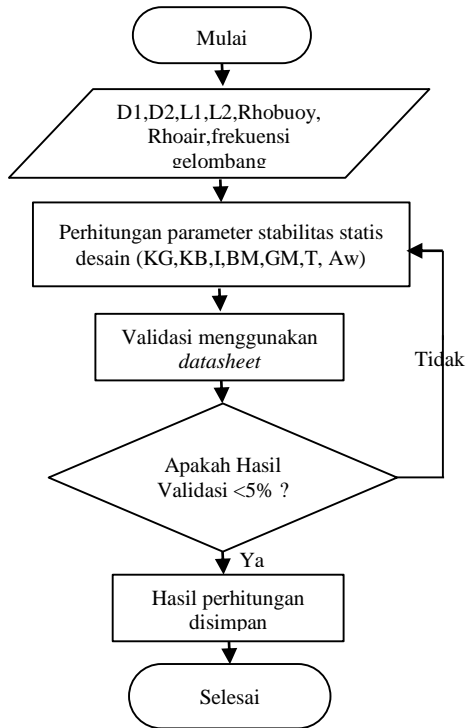
| Karakteristik | Range | Rata-rata |
|------------------------|----------|-----------|
| Hs (1/3) m | 4-6 | 5 |
| Kecepatan angin (knot) | 28-47 | 37,5 |
| Periode gelombang (s) | 9,3-16,5 | 13,8 |
| Probabilitas (%) | 16,3% | |

Karakteristik gelombang *sea state 6* yang digunakan pada penelitian ini seperti yang dapat dilihat pada tabel 3.2 memiliki *range* ketinggian gelombang signifikan (Hs) 1/3 tertinggi dengan *range* gelombang 4-6 m dengan probabilitas kejadian gelombang 16,3 % untuk wilayah *north pacific*.

3.3 Pemodelan *Buoyweather*

Pemodelan *buoyweather* dilakukan selain untuk gerak *buoyweather* juga untuk stabilitas *buoy*. Pemodelan gerak dilakukan secara numerik menggunakan persamaan gerak bangunan apung seperti yang telah disebutkan di bab II. Diawali dengan menentukan parameter terhadap stabilitas statis dari wahana apung *buoyweather* meliputi titik apung, titik berat, displacement, tinggi sarat, dan lengan penegak untuk setiap sudut kemiringan. Parameter stabilitas *bouy* berbeda-beda untuk setiap dimensi yang berbeda.

Selain itu juga perlu dilakukan perhitungan parameter stabilitas dinamis yaitu koefisien gerak bangunan apung meliputi gaya eksitasi gerak akibat gelombang, massa *bouy*, massa instrumen terpasang, kekakuan hidrostatik, dan koefisien redaman masing-masing gerak. Dari seluruh pemodelan numerik *buoy* yang dilakukan hasilnya disubstitusi pada persamaan respon gerak yang ada pada bab 2 dan divalidasi menggunakan data spesifikasi model *buoy* dari *hydromax* dengan syarat pemodelan tersebut dinyatakan valid jika hasil pemodelan <5% dari data *running* model dengan *hydromax*. Berikut ini diagram alur proses pemodelan wahana apung *buoyweather type II* :



Gambar 3. 3 Diagram Alir Proses Pemodelan *Buoy*

3.3.1 Perhitungan Titik Berat *Buoy*

Perhitungan titik berat *buoy* (KG) diawali dengan menentukan berat total *buoy* dengan persamaan 3.1 :

$$W_{total} = W_I + W_{II} \quad (3.1)$$

Atau

$$W_{total} = \pi r_1^2 L_1 \rho_{buoy} + \pi r_2^2 L_2 \rho_{buoy} \quad (3.2)$$

Dimana :

W_I = berat silinder 1 (kg)

W_{II} = berat silinder 2 (kg)

ρ_{buoy} = massa jenis *buoy* = 860 kg/m³

- r_1 = jari-jari silinder 1(m)
 L_1 = ketinggian silinder 1 (m)
 r_2 = jari-jari silinder 2 (m)
 L_2 = ketinggian silinder 2(m)

Kemudian untuk menentukan titik berat *buoy* (KG) digunakan rumus titik pusat massa seperti berikut :

$$KG = \frac{W_I Y_I + W_{II} Y_{II}}{W_I + W_{II}} \quad (3.3)$$

3.3.2 Perhitungan Titik Apung Buoy

Perhitungan titik apung *buoy* (KB) harus diketahui terlebih dahulu bagian badan *buoy* yang terendam air, dengan menggunakan hukum *Archimedes* seperti berikut :

$$FB = FG \quad (3.4)$$

Atau

$$\frac{\pi}{4} (D_1^2 L_1 + D_2^2 L_2) \rho_{\text{buoy}} = \frac{\pi}{4} (D_1^2 L_{1,\text{terendam}} + D_2^2 L_{2,\text{terendam}}) \rho_{\text{air}} \quad (3.5)$$

Dimana :

FB = gaya apung *buoy* (N)

FG = gaya berat *buoy* (N)

$L_{1,\text{terendam}}$ = ketinggian silinder 1 yang terendam air (m)

$L_{2,\text{terendam}}$ = ketinggian silinder 2 yang terendam air (m)

ρ_{air} = massa jenis air laut = 1025 kg/m³

Menggunakan asumsi nilai $L_{2,\text{terendam}} = L_2$ sehingga didapatkan ketinggian silinder 1 yang terendam. Setelah diketahui bagian-bagian silinder yang terendam maka dapat ditentukan titik apung (KB) *buoyweather* dengan rumus titik pusat massa berikut :

$$KB = \frac{W_I Y_I' + W_{II} Y_{II}'}{W_I + W_{II}} \quad (3.6)$$

3.4.3. Perhitungan Titik Metasentrum

Perhitungan titik metasentrum (GM) diawali dengan menghitung momen inersia (I) untuk bagian *buoy* yang terendam dengan rumus berikut :

$$I = \frac{1}{64} \pi D_{\text{terendam}}^4 \quad (3.7)$$

Kemudian untuk menghitung titik metasentrum (GM) dari *buoy* menggunakan persamaan berikut :

$$GM = \frac{I}{V} - (KG - KB) \quad (3.8)$$

3.4.4. Perhitungan Kekakuan *Buoy*

Kekakuan gerak *heave* (b) merupakan salah satu parameter penting pada gerak wahana apung yang mempengaruhi kestabilan dari wahana apung itu sendiri. Untuk menghitung kekakuan gerak *heave* terlebih dahulu dilakukan perhitungan luasan yang terendam air (*Aw*) dengan rumus :

$$Aw = \pi r_1^2 + (2\pi r_1 L_1 + 2\pi r_2 L_2) \quad (3.9)$$

Kemudian mensubstitusikan nilai *Aw* pada persamaan berikut :

$$b = \rho g Aw \quad (3.10)$$

Sedangkan untuk gerak *roll* kekakuan *buoy* dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$b = \rho g \nabla GM \quad (3.11)$$

Dimana :

∇ = volume displacement (m^3)

GM = tinggi metasentrum (m)

3.4.5. Perhitungan Redaman *Buoy*

Redaman pada *buoy* yang berosilasi akibat beban gelombang dinyatakan dengan 10% dari redaman kritis *buoy* seperti persamaan berikut :

$$c = 10\% cr \quad (3.12)$$

Atau

$$c = 10\% \cdot 2\sqrt{b \cdot (m + a)} \quad (3.13)$$

Sehingga redaman *buoy* pada gerak *heave* dapat dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$c = 10\% \cdot 2\sqrt{\rho g Aw \cdot (m + a)} \quad (3.14)$$

Dimana :

a = massa tambah (dalam keadaan kosong a=0, dalam keadaan pembebanan 50% load a = 50%.m, dalam keadaan pembebanan 100% load a = 100%.m)

Sedangkan redaman *buoy* pada gerak *roll* dicari menggunakan rumus berikut :

$$c = 10\% \cdot 2\sqrt{\rho g \nabla GM \cdot (m + a)} \quad (3.15)$$

3.4 Perhitungan Respon Stuktur

Respon stuktur bangunan apung digelombang reguler dinyatakan dalam nilai RAO yang juga digunakan sebagai *transfer function* dalam optimalisasi. Berikut rumus yang digunakan untuk menghitung nilai RAO :

$$RAO = \frac{\zeta_{za}}{\zeta_a} = e^{-KT} \sqrt{\frac{\{c-a\omega^2\}^2 + \{b\omega\}^2}{\{c-(m+a)\omega^2\}^2 + \{b\omega\}^2}} \quad (3.16)$$

Perhitungan RAO dilakukan pada bangunan apung sebelum dan sesudah dioptimasi untuk nantinya diketahui perbedaan responnya.

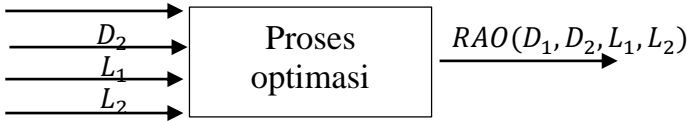
3.5 Perhitungan Respon Spektrum

Nilai RAO yang didapatkan hanya untuk mengetahui respon bangunan apung di gelombang reguler sedangkan untuk mengetahui respon bangunan apung di gelombang acak maka dilakukan perhitungan respon spektrum dengan menggunakan spektrum gelombang JONSWAP karakteristik *sea state* 6 seperti pada bab II. Perhitungan respon spektrum juga dilakukan pada sebelum dan sesudah desain wahana apung dioptimasi. Setelah diketahui respon spektrum bangunan apung tersebut dilakukan analisa luasan dibawah grafik respon spektrum yang dihasilkan.

3.6 Optimasi Menggunakan *particle swarm optimization*

3.6.1 Penentuan Fungsi Objektif dan *Constrain*

Proses optimalisasi dimensi wahana apung *buoyweather* yang dilakukan pada penelitian ini disesuaikan dengan diagram blok yang dapat dilihat pada gambar 3.4 dibawah ini :



Gambar 3. 4 Digaram Blok Proses Optimasi Menggunakan PSO

Terdapat 4 variabel masukan yang digunakan pada optimasi desain dimensi wahana apung yaitu :

1. Dimensi silinder 1 (D1)
2. Dimensi silinder 2 (D2)
3. Ketinggian silinder 1 (L1)
4. Ketinggian silinder 2 (L2)

Variabel keluaran dari proses optimasi berupa respon gerak wahana apung (RAO) sebagai fungsi D_1, D_2, L_1 , dan L_2 yang optimum. Sedangkan untuk proses optimasi menggunakan algoritma PSO dengan tahapan pertama yaitu menentukan fungsi objektif, *constrain* serta variabel desain. Hasil pemodelan berupa respon stuktur wahana apung (RAO) digunakan sebagai fungsi objektif pada proses optimasi dengan tujuan membuat fungsi objektif tersebut menjadi yang terbaik. Berikut fungsi objektif yang digunakan pada penelitian ini :

$$RAO = \frac{\zeta_{za}}{\zeta_a} = e^{-0,1L_2} \sqrt{\frac{\{31541,3f_1\}^2 + \{170620,53f_2f_1\}^2}{\{31541,3f_1 - 135,236f_2\}^2 + \{170620,53f_2f_1\}^2}}$$

Dimana :

$$f_1 = 0,25D_2^2 + D_2L_2$$

$$f_2 = D_1^2L_1 + D_2^2L_2$$

Nilai fungsi objektif yang terbaik (optimal) didapatkan dengan melakukan optimalisasi pada varibel desain *buoy* yaitu diameter silinder 1 (D1), diameter silinder 2 (D2), ketinggian silinder 1 (L1), dan ketinggian silinder 2 (L2).

Fungsi objektif tersebut ketika sudah mencapai nilai yang maksimal maka ada batasan atau *constrain* yang harus dipenuhi

agar fungsi objektif tersebut dapat dikatakan optimal. Batasan tersebut diantaranya adalah :

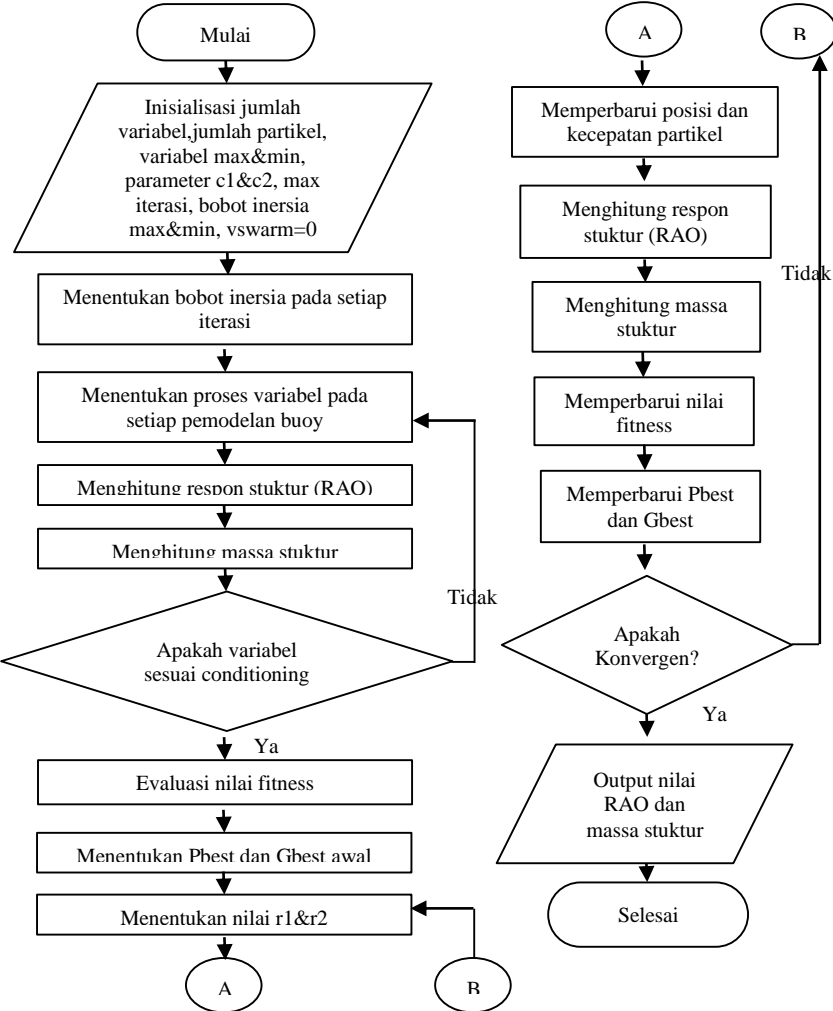
- a. Batasan awal desain :
 - Diameter silinder 2 = $\frac{1}{4}$ kali diameter silinder 1
 - Ketinggian silinder 2 = 2 kali ketinggian silinder 2
 - Meminimalkan massa stuktur
- b. Kondisi batas berdasarkan hukum *Archimedes*
 - $GM > KG$
- c. Batasan stabilitas berdasarkan IMO (*International Maritime Organization*), persyaratan IMO ditunjukkan pada tabel 3.5

Tabel 3. 5 Tabel Batasan Stabilitas IMO

| Stabilitas IMO | Kriteria |
|--|---------------|
| Luas daerah dibawah kurva GZ sudut 0-30° | > 0,055 m.rad |
| Luas daerah dibawah kurva GZ sudut 30°-40° | >0,09 m.rad |
| Luas daerah dibawah kurva GZ sudut 0-40° | >0,03 m.rad |
| Besar GZ | >0,2 m |
| Tinggi GMt | >0,15 m |

3.6.2 Algoritma PSO

Algoritma PSO dibuat dengan menyesuaikan tujuan optimalisasi yaitu memaksimalkan fungsi objektif dnegan mendapatkan variabel desain yang minimum. Solusi hasil optimasi dikatakan optimum jika sudah konvergen dengan memenuhi syarat batas dan iterasi algoritma dapat dihentikan dengan kriteria penghentian. Langkah-langkah pembuatan algoritma optimasi *buoyweather type II* menggunakan PSO dapat dilihat pada gambar 3.5 flowchart dibawah ini :



Gambar 3. 5 Flowchart Algoritma PSO untuk Optimasi Wahana Apung Buoyweather

Tahapan desain adalah:

1. Inisialisasi partikel:

- a. Jumlah variabel (dim) yang digunakan ada 4 yaitu D_1, D_2, L_1 , dan L_2
- b. Jumlah partikel (n_{swarm}) yang dibangkitkan yaitu 30 partikel
- c. Rentang maks_variabel dan min_variabel setiap variabel (dim) untuk pembangkitan populasi awal yaitu:
 1. $2 < D_1 < 0.5$, rentang untuk diameter silinder 1
 2. $0.5 < D_2 < 0.125$, rentang untuk diameter silinder 2
 3. $0.3 < L_1 < 0.1$, rentang untuk ketinggian silinder 1
 4. $0.6 < L_2 < 0.2$, rentang untuk ketinggian silinder 2
2. Penentuan nilai parameter PSO
 - a. Nilai konstanta c yang digunakan yaitu $c_1 = c_2 = 1$
 - b. Jumlah iterasi maksimum untuk keseluruhan proses optimalisasi adalah 35 iterasi
 - c. Rentang nilai bobot inersia (θ) yang diberikan adalah 0.4 sampai 0.9

3.6.3 Parameter Optimasi Dimensi menggunakan PSO

Terdapat beberapa parameter yang digunakan pada proses optimasi dimensi wahana apung *bouyweather type II* yang harus ditentukan diantaranya adalah jumlah populasi yang akan dibangkitkan disetiap iterasi, rentang setiap partikel (variabel dimensi) yang akan dibangkitkan pada setiap populasi, nilai konstanta c_1 & c_2 , nilai r_1 & r_2 , jumlah iterasi yang digunakan, rentang bobot inersia pada setiap iterasi.

Jumlah populasi yang dibangkitkan pada penelitian ini adalah 30 populasi dengan setiap populasi memiliki 4 partikel (variabel dimensi). Penentuan jumlah tersebut agar partikel yang dibangkitkan dapat menemukan posisi partikel yang baik. Pada penelitian ini jumlah iterasi yang digunakan adalah 35 iterasi hal itu dikarenakan dengan jumlah populasi 30 maka kemungkinan terdapat posisi terbaik berada pada rentang iterasi 0-35.

Rentang partikel (variabel dimensi) yang digunakan pada penelitian ini telah dicantumkan pada sub bab 3.6.2 poin 1c. Penentuan rentang variabel dimensi tersebut mengacu pada desain *buoyweather type II* yang lama namun masih pada batasan (*constrain*) desain yang telah dibuat.

Nilai parameter c_1 & c_2 yang digunakan sebesar 1, sedangkan nilai r_1 & r_2 adalah random antara 0 sampai 1 dengan tujuan agar hasil kali antara c dan r menghasilkan partikel yang mendekati target sekitar setengah selisihnya. Kemudian untuk nilai bobot inersia diberikan rentang 0.4 sampai 0.9 hal tersebut bertujuan untuk mempercepat konvergensi dari solusi yang didapatkan.

3.7 Analisa Hasil

Data-data dari hasil simulasi yang telah dilakukan kemudian dianalisa untuk menjawab tujuan dalam bentuk kesimpulan tugas akhir. Analisa data dilakukan pada hasil respon bangunan apung di gelombang acak untuk setiap perubahan dimensi wahana apung dari hasil optimasi yang dapat menghasilkan kestabilan wahana apung sesuai kriteria gelombang *sea state* 6 dan kriteria stabilitas IMO (*International Maritime Organization*).

3.8 Kesimpulan

Setelah selesai melakukan pengumpulan data, perhitungan, proses optimasi dimensi, dan analisa yang kemudian mendapatkan kesimpulan keseluruhan kegiatan penelitian ditulis ke dalam bentuk laporan akhir agar kegiatan selama penelitian dapat dipertanggungjawabkan dan berguna bagi peneliti selanjutnya.

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Kriteria Kestabilan *Buoyweather Type II*

Sebelum melakukan optimalisasi terhadap desain *buoywetaher* yang lama terlebih dahulu dilakukan evaluasi kriteria desain untuk *buoyweather type II* yang lama. Evaluasi dilakukan berdasarkan kriteria stabilitas IMO (*International Maritime Organization*) yang telah disebutkan di bab 2. Berikut ini hasil evaluasi kriteria desain *buoyweather type II* :

Tabel 4. 1 Hasil Evaluasi Kriteria Kestabilan Desain
Buoyweather Type II Sesuai Kriteria Stabilitas
IMO

| Kriteria | Standar IMO | Data Buoy | Keterangan |
|---|----------------|-----------|--------------|
| Nilai GMt (m) > | 0,15 | 0,26 | sesuai |
| Kriteria 0-30 (m.deg) > | 0,055 | 0,3822 | sesuai |
| Kriteria 0-40 (m.deg) > | 0,09 | 0,62328 | sesuai |
| Kriteria 30-40 (m.deg) > | 0,03 | 0,24108 | sesuai |
| Maksimum GZ pada 30 atau lebih (m) > | 0,2 | 0,13 | tidak sesuai |
| Sudut GZ maksimum (deg) > | 25 | 50 | sesuai |

Data evaluasi pada tabel 4.1 menunjukkan beberapa kriteria dari desain *buoyweather* yang lama tidak memenuhi kriteria stabilitas IMO yaitu besar GZ pada sudut 30° yang dimiliki buoy lebih kecil dari ketentuan standar stabiilitas IMO ($0,13\text{ m} < 0,2\text{ m}$)

Data evaluasi tersebut digunakan sebagai acuan untuk dilakukan optimalisasi desain *buoyweather type II* agar memenuhi

kriteria stabilitas IMO serta memenuhi kriteria gelombang pada *sea state* 6.

4.2 Pemodelan *Buoyweather Type II*

Pemodelan desain *buoyweather type II* dilakukan dalam 3 keadaan yaitu 1. ketika berada dalam keadaan kosong, 2. dalam keadaan 50% *load*, 3. dalam keadaan 100% *load*. Dari pemodelan tersebut didapatkan kriteria stabilitas statis dari desain *buoyweather type II* yang nantinya dapat digunakan untuk menentukan kriteria stabilitas dinamis dari desain *buoyweather* tersebut. Kriteria stabilitas statis menyatakan kestabilan desain wahana apung *buoyweather type II* pada keadaan tidak mendapat beban lingkungan. Kestabilan tersebut dapat dilihat dengan menentukan tinggi metasentrum dari desain wahana apung *buoyweather type II*. Berikut ini hasil pemodelan *buoyweather type II* untuk kriteria kestabilan statis :

Tabel 4. 2 Hasil Pemodelan *Buoyweather Type II* Secara Numerik

| Kriteria | Nilai | | |
|-------------|-------------|---------------------------|----------------------------|
| | Buoy (I) | Buoy +50% load (II) | Buoy+100% load (III) |
| mI | 432,064 | 432,064 | 432,064 |
| m tambah | 0 | 243,036 | 486,072 |
| mII | 54,008 | 54,008 | 54,008 |
| mtotal | 486,072 | 729,108 | 972,144 |
| FG | 4763,506 | 7145,258 | 9527,011 |
| VI | 0,502 | 0,502 | 0,502 |
| VII | 0,063 | 0,063 | 0,063 |
| KG | 0,583 | 0,583 | 0,583 |
| h1 terendam | 0,205 | 0,323 | 0,441 |
| h2 terendam | 0,500 | 0,500 | 0,500 |

| Kriteria | Nilai | | |
|----------------|-------------|---------------------------|----------------------------|
| | Buoy (I) | Buoy +50% load (II) | Buoy+100% load (III) |
| V1 terendam | 0,411 | 0,649 | 0,886 |
| v2 terendam | 0,063 | 0,063 | 0,063 |
| KB | 0,556 | 0,625 | 0,689 |
| I terendam | 0,322 | 0,322 | 0,322 |
| BM | 0,678 | 0,452 | 0,339 |
| GM | 0,650 | 0,494 | 0,445 |
| Aw | 3,666 | 4,259 | 4,852 |
| Awl | 2,010 | 2,010 | 2,010 |
| Sarat | 0,705 | 0,823 | 0,941 |

Hasil pemodelan kriteria stabilitas statis dari *bouy* ditunjukkan pada tabel 4.2 dan diketahui bahwa desain *buoy* saat dalam keadaan kosong tinggi metasenter dari *buoy* adalah 0,650 dan titik berat dari *bouy* sebesar 0,583 sehingga dari hasil tersebut dapat dikatakan *buoy* memiliki stabilitas positif. Sedangkan pada keadaan 50% *load* tinggi metasentrum dari *buoy* adalah 0,494 dan titik berat dari *buoy* sebesar 0,583 atau dapat dikatakan tinggi metasentrum dari *bouy* lebih kecil dari titik beratnya sehingga *buoy* memiliki kestabilan negatif. Kemudian untuk *buoy* pada keadaan 100% *load* tinggi metasentrum dari *buoy* adalah 0,445 dan titik berat *buoy* sebesar 0,583 sehingga dapat diketahui bahwa *buoy* dalam keadaan 100% *load* juga memiliki kestabilan negatif.

Untuk mengetahui apakah pemodelan secara numerik yang dilakukan sudah memenuhi maka dilakukan validasi dengan hasil *running* desain *buoy* menggunakan *Hydromax* pada keadaan I yaitu keadaan kosong. Berikut ini hasil validasi dari pemodelan yang telah dilakukan :

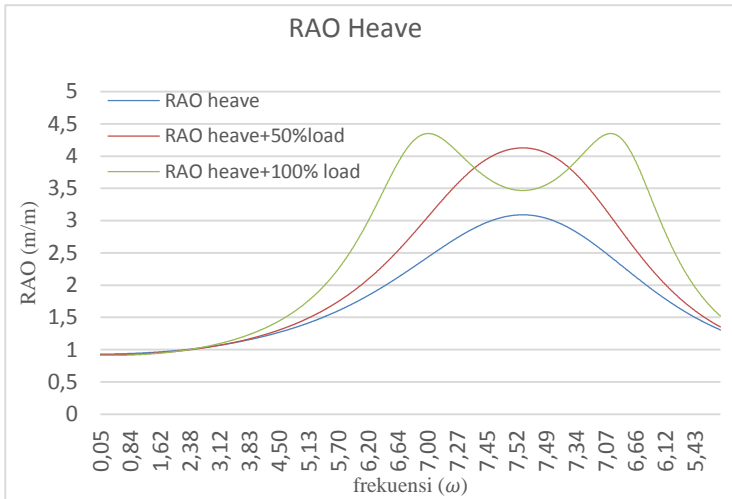
Tabel 4. 3 Hasil Validasi Pemodelan Buoyweather Type II

| Kriteria | Data | Model | Validasi < 5% | Keterangan |
|--------------------|--------|----------|------------------|------------|
| Displacement tonne | 0,098 | 0,093258 | - 0,048387755 | Valid |
| Draft at FP m | 0,478 | 0,705 | 0,474895397 | Valid |
| Draft at AP m | 0,478 | 0,705 | 0,474895397 | Valid |
| VCB from DWL m | -0,173 | -0,211 | 0,221965318 | Valid |
| VCB | 0,677 | 0,639 | - 0,056720827 | Valid |
| VCG | 0,737 | 0,583 | - 0,208548168 | Valid |

Hasil validasi seperti pada tabel 4.3 menyatakan bahwa hasil pemodelan secara numerik yang dilakukan sudah memenuhi kriteria validasi yaitu validasi pemodelan < 5%.

4.3 Respon Model *Buoyweather Type II*

Setelah dilakukan validasi dari hasil pemodelan secara numerik dicari respon wahana apung *buoyweather Type II* dari nilai respon RAO (*response amplitude operator*) yang telah dirumuskan pada bab 2 dan 3. Respon tersebut ditinjau dari 2 arah gerak yaitu *heave* dan *roll* dengan menggunakan 3 variasi pembebanan yaitu dalam keadaan kosong, 50%load dan 100%load. Berikut hasil respon gerak *heave buoyweather Type II* pada gelombang reguler :



Gambar 4. 1 Grafik Repon Gerak *Heave Buoyweather* di Gelombang Reguler

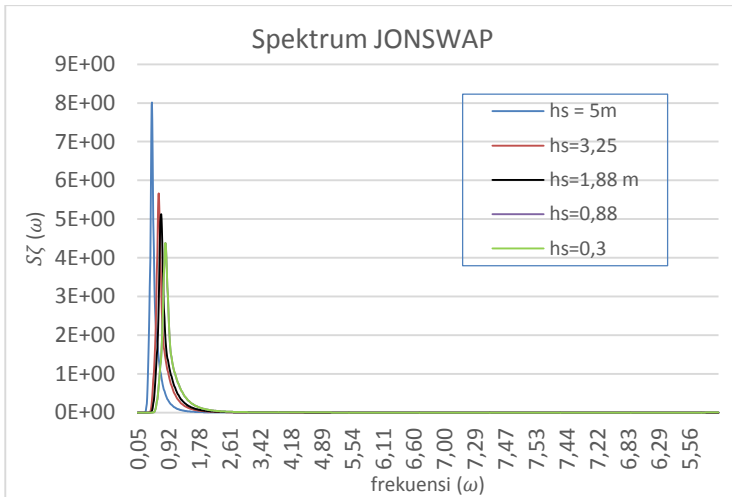
Respon model wahana apung *bouyweather type* II dalam keadaan kosong seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.1 respon gerak stuktur (RAO) dengan sudut fase gelombang 0° (*following seas*) mencapai maksimum pada frekuensi gelombang 7,526 rad/s atau pada periode gelombang 0,557 s yaitu sebesar 3,090 m/m sedangkan untuk *buoyweather type* II dengan beban 50% dari gambar 4.1 dapat diketahui bahwa nilai respon gerak (RAO) dengan sudut fase gelombang 0° (*following seas*) mencapai maksimum pada frekuensi gelombang 7,526 rad/s atau pada periode gelombang 0,557 s yaitu sebesar 4,127 m/m serta untuk *buoyweather type* II dengan pembebanan 100% dari gambar 4.1 dapat diketahui bahwa nilai respon gerak (RAO) dengan sudut fase gelombang 0° (*following seas*) mencapai maksimum pada frekuensi gelombang 7,008 rad/s atau pada periode 0,716 s yaitu

sebesar 4,350 m/m. Sedangkan frekuensi alami gerakan *heave* untuk *buoyweather type II* sebesar 8,704 rad/s.

Ketiga hasil respon gerak *buoyweather type II* yang memiliki nilai RAO paling kecil adalah ketika *buoyweather* dalam keadaan kosong dan nilai RAO paling besar dimiliki *buoyweather* ketika diberi pembebanan 100% atau dapat dikatakan bahwa semakin besar beban lingkungan yang diterima wahana apung *buoyweather type II* maka semakin besar nilai respon gerak *buoy* di gelombang reguler (RAO).

Nilai RAO yang didapat dari *buoyweather type II* dalam keadaan kosong pada frekuensi puncak *sea state 6* yaitu pada frekuensi 0,458 rad/s atau pada periode puncak 13,8 s adalah 0,934 m/m. Untuk *buoyweather* dengan pembebanan 50% nilai RAO yang didapat adalah 0,927 m/m pada frekuensi puncak *sea state 6* sedangkan untuk *buoyweather type II* dengan pembebanan 100% nilai RAO yang didapat adalah 0,915 m/m.

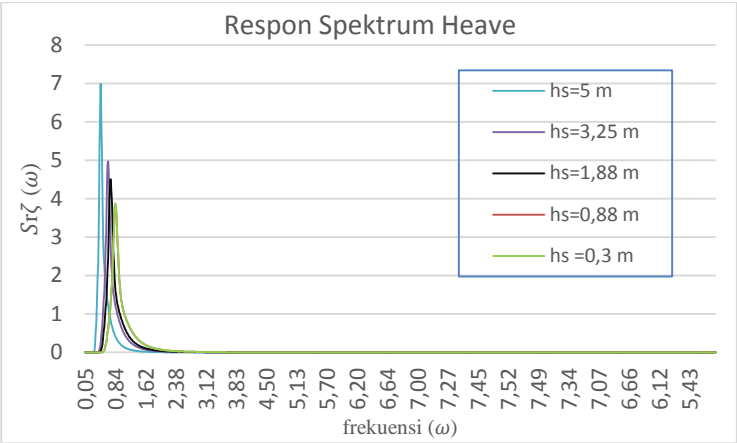
Kualitas gerakan dari wahana apung jika hanya dengan melihat nilai RAO saja tidaklah tepat karena nilai RAO hanya mengindikasikan kualitas awal gerakan oleh sebab itu perlu dilakukan analisis spektral terhadap nilai RAO dengan membuat proyeksi spektrum gelombang dari perairan dimana wahana apung tersebut akan dioperasikan atau dalam tugas akhir ini spektrum gelombang untuk perairan *sea state 6*. Berikut ini hasil kurva spektrum gelombang untuk perairan *sea state 2* sampai *sea state 6* dengan masing-masing variasi ketinggian gelombang signifikan :



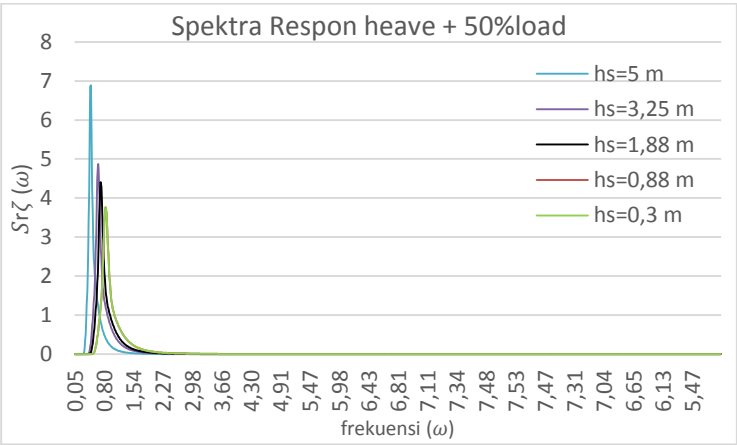
Gambar 4. 2 Spektrum Gelombang JONSWAP

Nilai spektrum puncak gelombang pada ketinggian gelombang signifikan 5 m dapat diketahui dari gambar 4.2 dan dipatkan hasil sebesar 8,01, pada ketinggian gelombang signifikan 3,25 m memiliki nilai puncak spektrum gelombang sebesar 5,67 m, pada ketinggian gelombang signifikan 1,88 m memiliki nilai puncak spektrum gelombang sebesar 5,12 m, pada ketinggian gelombang signifikan 0,88 m memiliki nilai puncak spektrum gelombang sebesar 4,38 m, pada ketinggian gelombang signifikan 0,3 m memiliki nilai puncak spektrum gelombang sebesar 4,38 m.

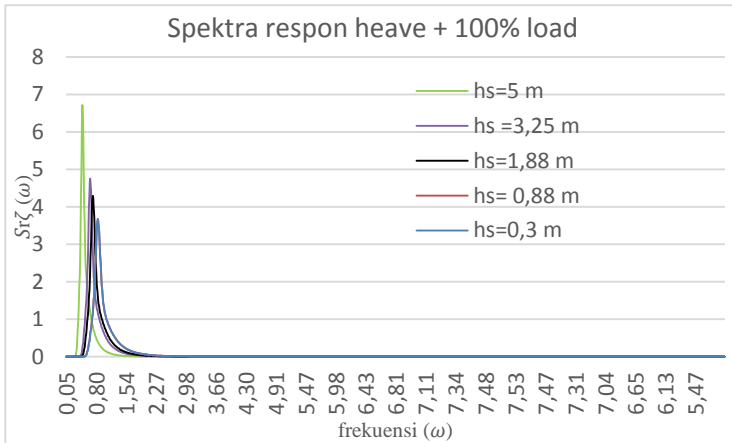
Respon spektrum dari *buoyweather* didapatkan dari pengalihan RAO kuadrat dengan spektrum gelombang untuk setiap RAO dengan variasi pembebanan dan variasi ketinggian gelombang signifikan untuk *sea state* 2 sampai *sea state* 6. Berikut ini kurva respon spektrum *buoyweather* gerak *heave* :



Gambar 4. 3 Kurva Respon Spektra Untuk Buoy Dalam Keadaan Kosong



Gambar 4. 4 Kurva Respon Spektra Buoy Dengan Pembebanan 50%



Gambar 4.5 Kurva Respon Spektra Buoy Dengan Pembebanan 100%

Grafik 4.3 sampai 4.5 menghasilkan nilai puncak spektra respon untuk setiap masing-masing tinggi gelombang signifikan untuk 3 keadaan wahana apung. Untuk buoy dalam keadaan kosong dapat dilihat pada grafik 4.3 nilai puncak spektra untuk ketinggian gelombang signifikan 5 m sebesar 6,99 m, untuk ketinggian gelombang signifikan 3,25 m nilai puncak spektranya sebesar 4,97 m, untuk ketinggian gelombang signifikan 1,88 m memiliki nilai puncak spektra sebesar 4,51 m serta untuk ketinggian gelombang signifikan 0,88 m dan 0,33 m memiliki nilai puncak spektra sebesar 3,87 m.

Ketiga grafik respon spektra diatas untuk diketahui harga-harga stokastik gerak heave *buoyweather type II* dilakukan perhitungan luasan dan momen spektra yang kemudian nantinya akan dilakukan analisis terhadap harga-harga stokastik tersebut. Berikut ini harga-harga stokastik gerak *heave* dari *buoywetaher type II* dalam keadaan kosong hasil perhitungan menggunakan persamaan di bab 2 :

Tabel 4. 4 Harga Stokastik Buoyweather Type II Keadaan Kosong

| Harga Sokastik | Amplitudo Gelombang Signifikan | | | | |
|----------------|--------------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | Sea State 6 (5 m) | Sea State 5 (3,25 m) | Sea State 4 (1,88 m) | Sea State 3 (0,88 m) | Sea State 2 (0,33 m) |
| mr0 | 1,223 | 1,241 | 1,250 | 1,269 | 1,269 |
| mr1 | 0,690 | 1,016 | 1,137 | 1,380 | 1,380 |
| mr2 | 0,490 | 1,098 | 1,388 | 2,065 | 2,065 |
| mr4 | 2,511 | 10,003 | 14,650 | 27,399 | 27,399 |
| To | 11,126 | 7,674 | 6,903 | 5,775 | 5,775 |
| Tp | 2,773 | 2,081 | 1,933 | 1,724 | 1,724 |
| Tz | 9,924 | 6,678 | 5,961 | 4,924 | 4,924 |
| e | 0,960 | 0,950 | 0,946 | 0,937 | 0,937 |
| w0 | 0,564 | 0,818 | 0,910 | 1,087 | 1,087 |
| wp | 2,264 | 3,018 | 3,249 | 3,643 | 3,643 |
| wz | 0,633 | 0,940 | 1,054 | 1,275 | 1,275 |
| Hs | 3,129 | 3,153 | 3,164 | 3,189 | 3,189 |
| Hav | 2,765 | 2,786 | 2,795 | 2,817 | 2,817 |
| H1/10 | 5,618 | 5,660 | 5,680 | 5,724 | 5,724 |

Untuk *buoyweather* dengan 50% *load* harga-harga stokastik gerak *heave* diberikan pada tabel berikut ini :

Tabel 4. 5 Harga Stokastik Buoyweather Type II Pembebanan 50%

| Harga Sokastik | Amplitudo Gelombang Signifikan | | | | |
|----------------|--------------------------------|--------------------|----------------------|----------------------|---------------------|
| | Sea State 6 (5 m) | Sea State 5 (3,25) | Sea State 4 (1,88 m) | Sea State 3 (0,88 m) | Sea State 2 (0,3 m) |
| mr0 | 1,200 | 1,204 | 1,205 | 1,209 | 1,209 |
| mr1 | 0,669 | 0,958 | 1,059 | 1,250 | 1,250 |

| Harga Stokastik | Amplitudo Gelombang Signifikan | | | | |
|-----------------|--------------------------------|--------------------|----------------------|----------------------|---------------------|
| | Sea State 6 (5 m) | Sea State 5 (3,25) | Sea State 4 (1,88 m) | Sea State 3 (0,88 m) | Sea State 2 (0,3 m) |
| mr2 | 0,438 | 0,900 | 1,100 | 1,535 | 1,535 |
| mr4 | 0,777 | 2,908 | 4,180 | 7,572 | 7,572 |
| To | 11,261 | 7,891 | 7,149 | 6,075 | 6,075 |
| Tp | 4,713 | 3,494 | 3,222 | 2,827 | 2,827 |
| Tz | 10,398 | 7,263 | 6,573 | 5,574 | 5,574 |
| e | 0,891 | 0,877 | 0,872 | 0,862 | 0,862 |
| w0 | 0,558 | 0,796 | 0,878 | 1,034 | 1,034 |
| wp | 1,333 | 1,798 | 1,949 | 2,221 | 2,221 |
| wz | 0,604 | 0,865 | 0,955 | 1,127 | 1,127 |
| Hs | 3,100 | 3,105 | 3,107 | 3,112 | 3,112 |
| Hav | 2,738 | 2,743 | 2,745 | 2,749 | 2,749 |
| H1/10 | 5,564 | 5,573 | 5,577 | 5,586 | 5,586 |

Sedangkan untuk *buoyweather* dengan 100% *load* harga-harga stokastik diberikan pada tabel berikut ini :

Tabel 4. 6 Harga Stokastik Buoywetather Type II Pembebanan 100%

| Harga Stokastik | Amplitudo Gelombang Signifikan | | | | |
|-----------------|--------------------------------|--------------------|----------------------|----------------------|---------------------|
| | Sea State 6 (5 m) | Sea State 5 (3,25) | Sea State 4 (1,88 m) | Sea State 3 (0,88 m) | Sea State 2 (0,3 m) |
| mr0 | 1,169 | 1,173 | 1,175 | 1,178 | 1,178 |
| mr1 | 0,652 | 0,934 | 1,032 | 1,218 | 1,218 |
| mr2 | 0,426 | 0,877 | 1,072 | 1,496 | 1,496 |
| mr4 | 0,757 | 2,834 | 4,074 | 7,380 | 7,380 |
| To | 11,261 | 7,891 | 7,149 | 6,075 | 6,075 |
| Tp | 4,713 | 3,494 | 3,222 | 2,827 | 2,827 |
| Tz | 10,398 | 7,263 | 6,573 | 5,574 | 5,574 |

| Harga Sokastik | Amplitudo Gelombang Signifikan | | | | |
|-------------------|--------------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|
| | Sea State 6 (5 m) | Sea State 5 (3,25) | Sea State 4 (1,88 m) | Sea State 3 (0,88 m) | Sea State 2 (0,3 m) |
| e | 0,891 | 0,877 | 0,872 | 0,862 | 0,862 |
| w0 | 0,558 | 0,796 | 0,878 | 1,034 | 1,034 |
| wp | 1,333 | 1,798 | 1,949 | 2,221 | 2,221 |
| wz | 0,604 | 0,865 | 0,955 | 1,127 | 1,127 |
| Hs | 3,060 | 3,065 | 3,067 | 3,072 | 3,072 |
| Hav | 2,703 | 2,708 | 2,710 | 2,714 | 2,714 |
| H1/10 | 5,493 | 5,502 | 5,506 | 5,515 | 5,515 |

Harga-harga stokastik dari *buoyweather* seperti yang ditunjukkan tabel 4.4 sampai tabel 4.6 Nantinya akan dibandingkan dengan harga-harga stokastik dari desain dimensi wahana apung *buoyweather* hasil optimasi. Serta dari tabel 4.4 sampai 4.6 dapat diketahui bahwa amplitudo gerak *heave* signifikan pada *buoyweather* type II baik dalam keadaan kosong maupun pembebanan 50% dan 100% memiliki nilai yang semakin turun terhadap kenaikan amplitudo gelombang signifikan.

4.4 Optimasi *Buoyweather* Type II Menggunakan PSO

Setelah dilakukan pemodelan dan perhitungan respon gerak dan respon spektrum pada model atau desain *buoyweather* type II yang lama maka dilakukan optimalisasi desain dimensi wahana apung *buoyweather* type II untuk mendapatkan desain dimensi wahana apung yang tepat yang memiliki kesesuaian kriteria pada *sea state* 6. Berikut hasil optimasi dimensi wahana apung *buoyweather* type II :

Tabel 4. 7 Hasil Optimasi Dimensi Wahana Apung Buoyweather Type II dalam Keadaan Kosong

| Kriteria | Hanya Buoy | | Δ |
|----------------|------------|----------|----------|
| | Desain | optimasi | |
| D1 | 1,60 | 1,27 | 0,33 |
| D2 | 0,40 | 0,91 | -0,51 |
| L1 | 0,25 | 0,25 | 0,00 |
| L2 | 0,50 | 0,20 | 0,30 |
| mI | 432,06 | 273,31 | 158,75 |
| m tambah | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| mII | 54,01 | 111,63 | -57,62 |
| mtotal | 486,07 | 384,94 | 101,13 |
| FG | 4763,51 | 3772,39 | 991,12 |
| VI | 0,50 | 0,32 | 0,18 |
| VII | 0,06 | 0,13 | -0,07 |
| KG | 0,58 | 0,26 | 0,32 |
| h1 terendam | 0,20 | 0,19 | 0,01 |
| h2 terendam | 0,50 | 0,20 | 0,30 |
| V1 terendam | 0,41 | 0,25 | 0,16 |
| v2 terendam | 0,06 | 0,13 | -0,07 |
| KB | 0,56 | 0,23 | 0,33 |
| I terendam | 0,32 | 0,13 | 0,19 |
| BM | 0,68 | 0,34 | 0,34 |
| GM | 0,65 | 0,31 | 0,34 |
| Aw | 3,67 | 2,61 | 1,06 |
| Awl | 2,01 | 1,26 | 0,75 |
| Sarat | 0,70 | 0,39 | 0,31 |

| Kriteria | Hanya Buoy | | Δ |
|----------|------------|----------|----------|
| | Desain | optimasi | |
| c | 36826,39 | 26200,01 | 10626,38 |
| b | 846,17 | 635,15 | 211,02 |
| k | 0,10 | 0,10 | 0,00 |
| wc | 7,53 | 7,53 | 0 |

Tabel 4. 8 Hasil Optimasi Dimensi Wahana Apung Buoyweather Type II Pembebanan 50%

| Kriteria | Buoy+ 50%load | | Δ |
|----------------|---------------|----------|----------|
| | Desain | Optimasi | |
| D1 | 1,60 | 1,27 | 0,33 |
| D2 | 0,40 | 0,91 | -0,51 |
| L1 | 0,25 | 0,25 | 0,00 |
| L2 | 0,50 | 0,20 | 0,30 |
| mI | 432,06 | 273,31 | 158,76 |
| m tambah | 243,04 | 192,47 | 50,57 |
| mII | 54,01 | 111,63 | -57,62 |
| mtotal | 729,11 | 577,41 | 151,70 |
| FG | 7145,26 | 5658,58 | 1486,68 |
| VI | 0,50 | 0,32 | 0,18 |
| VII | 0,06 | 0,13 | -0,07 |
| KG | 0,58 | 0,26 | 0,32 |
| h1 terendam | 0,32 | 0,34 | -0,02 |
| h2 terendam | 0,50 | 0,20 | 0,30 |
| V1 terendam | 0,65 | 0,43 | 0,22 |
| v2 terendam | 0,06 | 0,13 | -0,07 |
| KB | 0,63 | 0,31 | 0,32 |

| Kriteria | Buoy+ 50%load | | Δ |
|-----------------|----------------------|-----------------|----------|
| | Desain | Optimasi | |
| I terendam | 0,32 | 0,13 | 0,19 |
| BM | 0,45 | 0,23 | 0,23 |
| GM | 0,49 | 0,27 | 0,22 |
| Aw | 4,26 | 3,20 | 1,06 |
| Awl | 2,01 | 1,26 | 0,75 |
| Sarat | 0,82 | 0,54 | 0,28 |
| c | 42780,77 | 32150,56 | 10630,21 |
| b | 1116,99 | 861,72 | 255,27 |
| k | 0,10 | 0,10 | 0,00 |
| wc | 7,53 | 7,53 | 0,00 |

Tabel 4. 9 Hasil Optimasi Dimensi Wahana Apung Buoyweather
Type II Pembebanan 100%

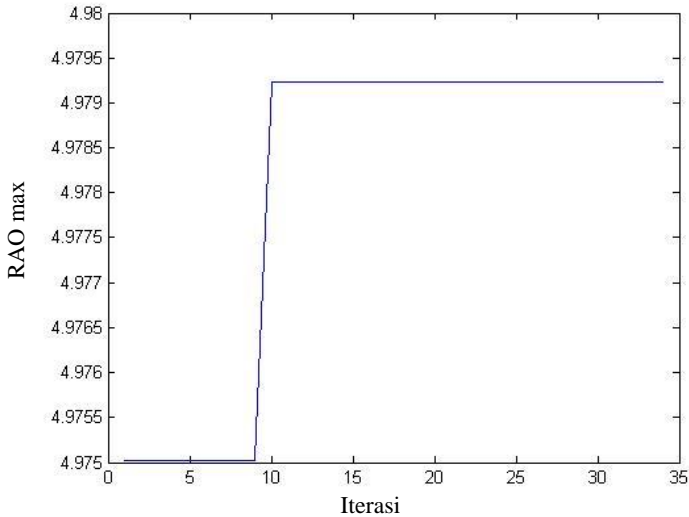
| Kriteria | Buoy +100% load | | Δ |
|-----------------|------------------------|-----------------|----------|
| | Desain | Optimasi | |
| D1 | 1,60 | 1,27 | 0,33 |
| D2 | 0,40 | 0,91 | -0,51 |
| L1 | 0,25 | 0,25 | 0,00 |
| L2 | 0,50 | 0,20 | 0,30 |
| mI | 432,06 | 273,31 | 158,75 |
| m tambah | 486,07 | 384,94 | 101,13 |
| mII | 54,01 | 111,63 | -57,62 |
| mtotal | 972,14 | 769,88 | 202,26 |
| FG | 9527,01 | 7544,78 | 1982,23 |
| VI | 0,50 | 0,32 | 0,18 |
| VII | 0,06 | 0,13 | -0,07 |
| KG | 0,58 | 0,26 | 0,32 |

| Kriteria | Buoy +100% load | | Δ |
|----------------|-----------------|----------|----------|
| | Desain | Optimasi | |
| h1 terendam | 0,44 | 0,49 | -0,05 |
| h2 terendam | 0,50 | 0,20 | 0,30 |
| V1 terendam | 0,89 | 0,62 | 0,27 |
| v2 terendam | 0,06 | 0,13 | -0,07 |
| KB | 0,69 | 0,39 | 0,30 |
| I terendam | 0,32 | 0,13 | 0,19 |
| BM | 0,34 | 0,17 | 0,17 |
| GM | 0,44 | 0,29 | 0,15 |
| Aw | 4,85 | 3,79 | 1,06 |
| Awl | 2,01 | 1,26 | 0,75 |
| Sarat | 0,94 | 0,69 | 0,25 |
| c | 48735,16 | 38101,11 | 10634,05 |
| b | 1376,63 | 1083,20 | 293,43 |
| k | 0,10 | 0,10 | 0,00 |
| wc | 7,53 | 7,53 | 0,00 |

Pada tabel 4.7 sampai tabel 4.9 dilakukan perbandingan desain dimensi hasil optimasi dengan desain dimensi *buoyweather type II* yang lama untuk mencari nilai respon gerak (RAO) yang paling baik pada 3 variasi keadaan. Dari tabel 4.7 sampai 4.9 diketahui bahwa nilai massa total *buoyweather* hasil optimasi lebih kecil jika dibandingkan dengan massa total *buoyweather type II* yang lama.

Variabel desain atau nilai partikel didapatkan dari optimalisasi menggunakan *particle swarm optimization* (PSO) dengan menentukan nilai minimum partikel dan nilai generasi yang dibutuhkan untuk memperoleh solusi yang optimum dengan menggunakan PSO. Setelah didapatkan nilai minimum partikel

dan nilai generasi algoritma PSO dijalankan sebanyak 30 kali dengan mempertimbangkan parameter-parameter desain yang telah dibuat serta nilai ΔRAO yang saling berdekatan. Berikut ini grafik nilai RAO hasil optimasi menggunakan algoritma PSO untuk setiap iterasi :

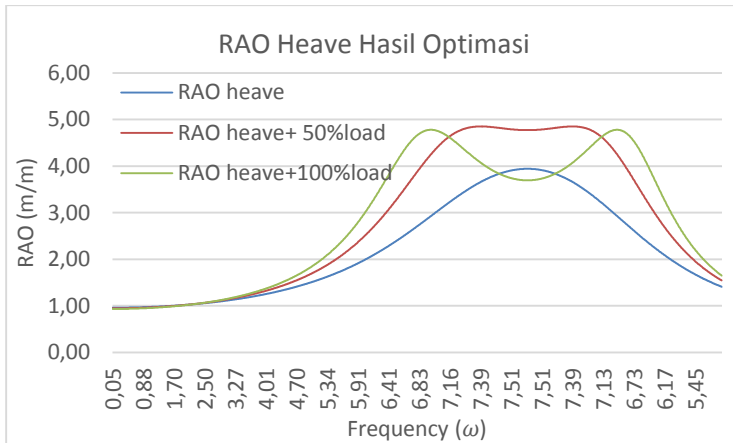


Gambar 4. 6 RAO Maksimum Pada Buoyweather disetiap Iterasi

Seperti yang terlihat pada Gambar 4. nilai respon gerak (RAO) mengalami kenaikan disetiap iterasinya yang bersesuaian dengan fungsi objektif yang digunakan untuk optimalisasi. Grafik terlihat naik karena fungsi objektif yang digunakan mencari nilai respon gerak (RAO) yang maksimal pada frekuensi encounter maksimum.

4.5 Respon Model *Buoyweather* Hasil Optimasi

Dimensi desain yang sudah didapat dari hasil optimalisasi menggunakan PSO kemudian dicari respon gerak dari desain dimensi wahana apung yang baru. Berikut hasil respon dari dimensi wahana apung hasil optimasi :



Gambar 4. 7 Grafik RAO Buoyweather Hasil Optimasi

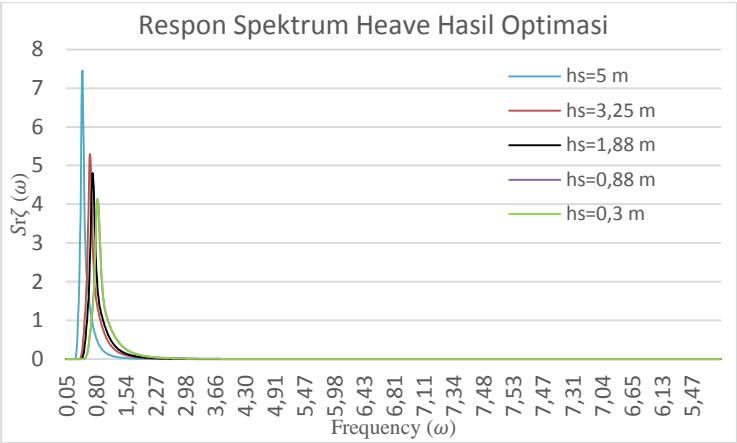
Gambar 4.6 merupakan respon model wahana apung *bouyweather type II* hasil optimasi dalam keadaan kosong, respon gerak stuktur (RAO) dengan sudut fase gelombang 0° (*following seas*) mencapai maksimum pada frekuensi gelombang 7,526 rad/s atau pada periode gelombang 0,557 s yaitu sebesar 3,942 m/m sedangkan untuk *bouyweather type II* dengan beban 50% load dari gambar 4.2 dapat diketahui bahwa nilai respon gerak (RAO) dengan sudut fase gelombang 0° (*following seas*) mencapai maksimum pada frekuensi gelombang 7,39 rad/s atau pada periode gelombang 0,850 s yaitu sebesar 4,852 m/m serta untuk *bouyweather type II* dengan pembebanan 100%load dari gambar 4.3 dapat diketahui bahwa nilai respon gerak (RAO) dengan sudut fase gelombang 0° (*beam seas*) mencapai maksimum pada frekuensi gelombang 6,965 rad/s atau pada periode 0,902 s yaitu sebesar 4,780 m/m. Sedangkan frekuensi alami gerakan *heave* untuk *bouyweather type II* hasil optimasi sebesar 8,250 rad/s.

Gambar 4.6 diatas juga merupakan hasil respon gerak *bouyweather type II* dalam keadaan kosong hasil optimasi memiliki nilai RAO maksimum pada frekuensi yang sama dengan hasil respon gerak *bouyweather type II* dalam keadaan kosong yang

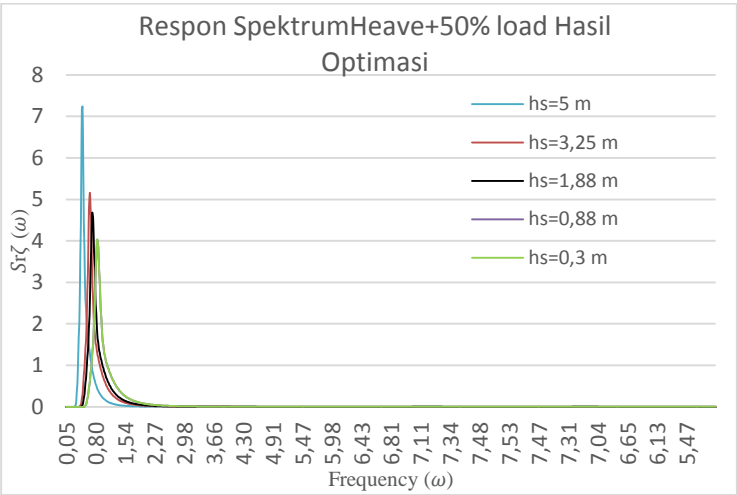
lama. Hal itu juga berlaku untuk *buoyweather type II* dengan pembebanan 100% hasil optimasi, namun untuk *buoyweather type II* pembebanan 50% hasil kurva respon gerak *heave*-nya mengalami pembesaran daripada kurva respon gerak *heave buoyweather type II* yang lama sehingga frekuensi puncaknya juga ikut bergeser lebih kecil dari frekuensi puncak *buoyweather type II* yang lama.

Jika dibandingkan dengan hasil respon gerak *buoyweather type II* yang lama nilai respon gerak *buoyweather* hasil optimasi relatif lebih besar. Sedangkan nilai RAO yang didapat setelah dilakukan optimalisasi pada *buoyweather type II* dalam keadaan kosong adalah 0,964 m/m pada frekuensi puncak *sea state 6* yaitu 0,458 rad/s atau pada periode puncak 13,8 s sesuai dengan fungsi objektif yang digunakan. Untuk *buoyweather* dengan pembebanan 50% nilai RAO hasil optimasi yang didapat adalah 0,951 m/m pada frekuensi puncak *sea state 6* sedangkan untuk *buoyweather type II* dengan pembebanan 100% nilai RAO hasil optimasi yang didapat adalah 0,937 m/m

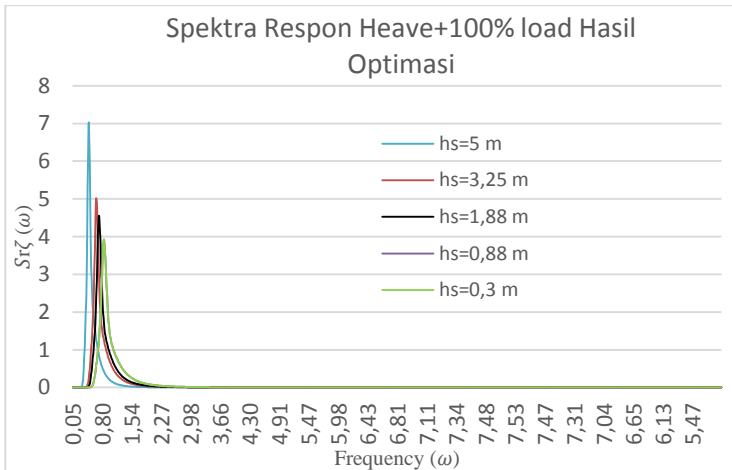
Seperti pada *buoyweather type II* yang lama untuk mengetahui kualitas gerakan dari wahana apung *buoyweather* hasil optimasi perlu dilakukan analisis spektral terhadap nilai RAO hasil optimasi dengan membuat proyeksi spektrum gelombang dari perairan dimana wahana apung tersebut akan dioperasikan atau dalam tugas akhir ini spektrum gelombang untuk perairan *sea state 6*. Berikut ini hasil kurva respon spektrum dari *buoyweather* hasil optimasi :



Gambar 4. 8 Kurva Respon Spektrum Buoy Keadaan Kosong Hasil Optimasi



Gambar 4. 9 Kurva Respon Spektra Buoy Pembebanan 50% Hasil Optimasi



Gambar 4. 10 Kurva Respon Spektra Buoy Pembebanan 10% Hasil Optimasi

Nilai puncak respon spektrum pada tinggi gelombang signifikan *sea state* 6 (5 m) dapat dilihat pada gambar 4.8 dan diketahui bahwa nilai memiliki nilai yang mendekati nilai puncak spektrum gelombangnya yaitu 7,45 sedangkan nilai puncak spektrum gelombang *sea state* 6 adalah 8,01. Dari ketiga grafik respon spektra diatas dilakukan perhitungan luasan dan momen spektra untuk diketahui harga-harga stokastik gerak *heave buoyweather type II* yang kemudian nantinya akan dilakukan analisis terhadap harga-harga stokastik tersebut. Berikut ini harga-harga stokastik gerak *heave* dari *buoywetaher type II* dalam keadaan kosong hasil perhitungan menggunakan persamaan di bab 2 :

Tabel 4. 10 Harga Stokastik Buoy Keadaan Kosong Hasil Optimasi

| Harga Sokastik | Amplitudo Gelombang Signifikan | | | | |
|----------------|--------------------------------|--------------------|----------------------|----------------------|---------------------|
| | Sea State 6 (5 m) | Sea State 5 (3,25) | Sea State 4 (1,88 m) | Sea State 3 (0,88 m) | Sea State 2 (0,3 m) |
| mr0 | 1,304 | 1,327 | 1,337 | 1,361 | 1,361 |
| mr1 | 0,739 | 1,096 | 1,231 | 1,506 | 1,506 |
| mr2 | 0,540 | 1,246 | 1,591 | 2,412 | 2,412 |
| mr4 | 3,538 | 14,191 | 20,824 | 39,075 | 39,075 |
| To | 11,085 | 7,603 | 6,822 | 5,675 | 5,675 |
| Tp | 2,455 | 1,861 | 1,736 | 1,560 | 1,560 |
| Tz | 9,755 | 6,480 | 5,758 | 4,718 | 4,718 |
| e | 0,968 | 0,958 | 0,953 | 0,944 | 0,944 |
| w0 | 0,567 | 0,826 | 0,921 | 1,107 | 1,107 |
| wp | 2,558 | 3,375 | 3,618 | 4,025 | 4,025 |
| wz | 0,644 | 0,969 | 1,091 | 1,331 | 1,331 |
| Hs | 3,232 | 3,260 | 3,273 | 3,302 | 3,302 |
| Hav | 2,855 | 2,880 | 2,891 | 2,917 | 2,917 |
| H1/10 | 5,802 | 5,851 | 5,874 | 5,927 | 5,927 |

Buoyweather dengan 50% *load* harga-harga stokastik gerak *heave* diberikan pada tabel 4.11.

Tabel 4. 11 Harga Stokastik Buoy Pembebanan 50% Hasil Optimasi

| Harga Sokastik | Amplitudo Gelombang Signifikan | | | | |
|----------------|--------------------------------|--------------------|----------------------|----------------------|---------------------|
| | Sea State 6 (5 m) | Sea State 5 (3,25) | Sea State 4 (1,88 m) | Sea State 3 (0,88 m) | Sea State 2 (0,3 m) |
| mr0 | 1,270 | 1,299 | 1,312 | 1,344 | 1,344 |
| mr1 | 0,727 | 1,100 | 1,248 | 1,559 | 1,559 |

| Harga Stokastik | Amplitudo Gelombang Signifikan | | | | |
|-----------------|--------------------------------|--------------------|----------------------|----------------------|---------------------|
| | Sea State 6 (5 m) | Sea State 5 (3,25) | Sea State 4 (1,88 m) | Sea State 3 (0,88 m) | Sea State 2 (0,3 m) |
| mr2 | 0,576 | 1,418 | 1,851 | 2,921 | 2,921 |
| mr4 | 5,739 | 23,218 | 34,153 | 64,343 | 64,343 |
| To | 10,973 | 7,412 | 6,605 | 5,415 | 5,415 |
| Tp | 1,990 | 1,552 | 1,462 | 1,338 | 1,338 |
| Tz | 9,325 | 6,009 | 5,287 | 4,261 | 4,261 |
| e | 0,977 | 0,966 | 0,961 | 0,949 | 0,949 |
| w0 | 0,572 | 0,847 | 0,951 | 1,160 | 1,160 |
| wp | 3,156 | 4,046 | 4,295 | 4,694 | 4,694 |
| wz | 0,673 | 1,045 | 1,188 | 1,474 | 1,474 |
| Hs | 3,189 | 3,225 | 3,242 | 3,281 | 3,281 |
| Hav | 2,817 | 2,849 | 2,864 | 2,899 | 2,899 |
| H1/10 | 5,725 | 5,789 | 5,819 | 5,890 | 5,890 |

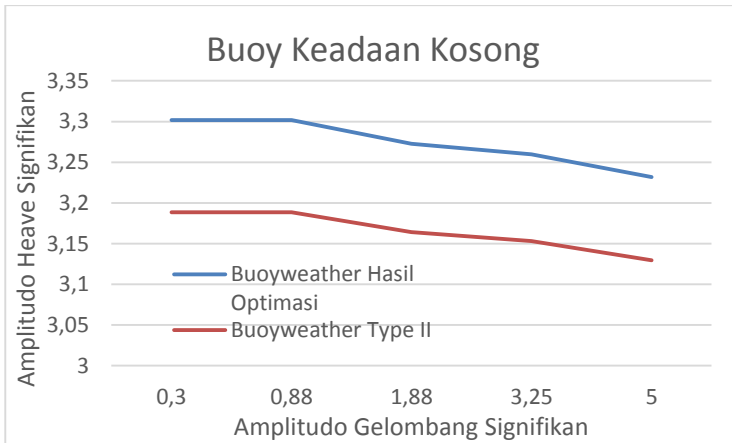
Sedangkan untuk *buoyweather* dengan 100% *load* harga-harga stokastik diberikan pada tabel 4.12.

Tabel 4. 12 Harga Stokastik Buoy Pembebanan 100% Hasil Optimasi

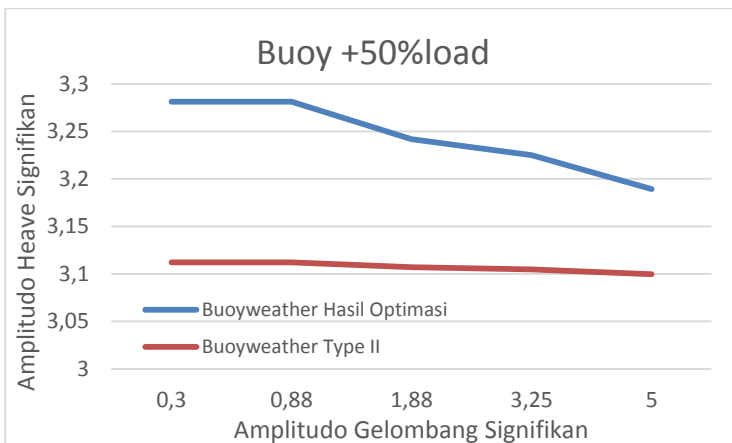
| Harga Stokastik | Amplitudo Gelombang Signifikan | | | | |
|-----------------|--------------------------------|--------------------|----------------------|----------------------|---------------------|
| | Sea State 6 (5 m) | Sea State 5 (3,25) | Sea State 4 (1,88 m) | Sea State 3 (0,88 m) | Sea State 2 (0,3 m) |
| mr0 | 1,235 | 1,266 | 1,281 | 1,316 | 1,316 |
| mr1 | 0,709 | 1,080 | 1,229 | 1,545 | 1,545 |
| mr2 | 0,570 | 1,421 | 1,862 | 2,956 | 2,956 |
| mr4 | 5,725 | 23,168 | 34,082 | 64,216 | 64,216 |
| To | 10,939 | 7,361 | 6,548 | 5,352 | 5,352 |
| Tp | 1,982 | 1,555 | 1,468 | 1,347 | 1,347 |
| Tz | 9,243 | 5,929 | 5,210 | 4,191 | 4,191 |

| Harga Sokastik | Amplitudo Gelombang Signifikan | | | | |
|-------------------|--------------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|
| | Sea State 6 (5 m) | Sea State 5 (3,25) | Sea State 4 (1,88 m) | Sea State 3 (0,88 m) | Sea State 2 (0,3 m) |
| e | 0,977 | 0,965 | 0,959 | 0,947 | 0,947 |
| w0 | 0,574 | 0,853 | 0,959 | 1,173 | 1,173 |
| wp | 3,169 | 4,038 | 4,279 | 4,661 | 4,661 |
| wz | 0,679 | 1,059 | 1,205 | 1,498 | 1,498 |
| Hs | 3,145 | 3,184 | 3,203 | 3,247 | 3,247 |
| Hav | 2,779 | 2,813 | 2,830 | 2,868 | 2,868 |
| H1/10 | 5,646 | 5,716 | 5,750 | 5,829 | 5,829 |

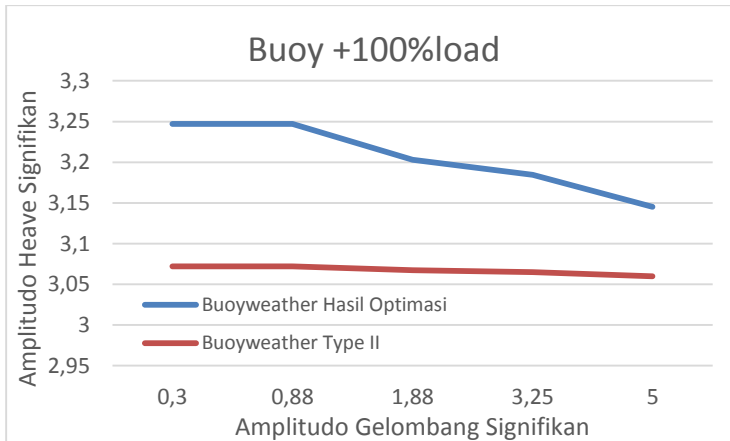
Harga-harga stokastik dari *buoyweather* seperti yang ditunjukkan tabel 4.10 sampai tabel 4.12 nantinya akan dibandingkan dengan harga-harga stokastik dari desain dimensi wahana apung *buoyweather* hasil optimasi. Serta dari tabel 4.10 sampai 4.12 dapat diketahui bahwa amplitudo gerak *heave* signifikan pada *buoyweather type II* baik dalam keadaan kosong maupun pembebanan 50% dan 100% memiliki nilai yang semakin turun terhadap kenaikan amplitudo gelombang signifikan. Berikut ini hasil kenaikan amplitudo *heave* signifikan sebagai fungsi kenaikan tinggi gelombang signifikan untuk *buoyweather type II* dengan *buoyweather* hasil optimasi :



Gambar 4. 11 Grafik Kenaikan Amplitudo Heave Signifikan sebagai Fungsi Kenaikan Tinggi Gelombang Signifikan Buoy



Gambar 4. 12 Grafik Kenaikan Ampitudo heave Signifikan Sebagai fungsi Kenaikan Tinggi Gelombang signifikan Buoy Pembebanan 50%



Gambar 4. 13 Grafik kenaikan Amplitudo Heave Signifikan sebagai Fungsi Kenaikan Tinggi Gelombang Signifikan Buoy Pembebanan 100%

Karakteristik kualitas struktur di gelombang acak dapat dilihat dari gambar 4.11 sampai 4.13 yaitu berupa kenaikan amplitudo *heave* signifikan sebagai fungsi kenaikan tinggi gelombang signifikan pada *buoy*. Dari gambar tersebut dapat dilihat dalam 3 keadaan *buoy* hasil optimasi nilai *heave* amplitudo signifikannya selalu lebih besar dari desain awal *buoy* atau dapat dikatakan kualitas *buoy* hasil optimasi lebih baik daripada desain *buoyweather type II* yang lama dengan massa total *buoyweather* yang lebih kecil dan nilai RAO yang lebih besar untuk gelombang uji pada *sea state* 6. Pada dasarnya ketika frekuensi alami gerakan tidak beresonansi dengan frekuensi puncak spektra maka faktor spektra akan lebih dominan dibandingkan faktor puncak RAO. Sedangkan pada *buoy* hasil optimasi frekuensi alami *buoy* jauh dari frekuensi puncak spektra gelombang sehingga tidak terjadi resonansi.

BAB V

PENUTUP

2.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari tugas akhir mengenai “Optimasi Desain Dimensi Wahana Apung *Buoyweather Type II* Menggunakan *Particle Swarm Optimization* Untuk Kestabilan Pada *Sea State 6*” adalah:

1. Kriteria kestabilan wahana apung selain berdasarkan kriteria IMO juga ditentukan dengan melihat respon gerak dari wahana apung. Ketika tidak terjadi resonansi frekuensi gelombang dengan frekuensi gerak wahana apung maka respon gerak yang dihasilkan semakin baik.
2. Wahana apung *buoyweather type II* masih memiliki ketidaksesuaian terhadap kriteria IMO yang sudah ditetapkan yaitu besar momen penengak (GZ) = 0,13 m.
3. Variabel desain yang didapatkan dari hasil optimasi menggunakan PSO yang memiliki nilai respon gerak optimum pada *sea state 6* adalah $D1=1,27\text{m}$, $D2=0,91\text{m}$, $L1=0,25\text{m}$, $L2=0,2\text{m}$
4. Performansi desain dimensi wahana apung *buoyweather* yang baru lebih baik dengan nilai RAO maksimum sebesar 3,942 m/m dan massa total minimum sebesar 384,94 kg memiliki nilai puncak spektrum sebesar 7,44 $\text{m}^2/(\text{rad/s})$
5. Perubahan parameter PSO meliputi jumlah iterasi, jumlah populasi, jumlah partikel, nilai c dan r , nilai bobot inersia menentukan keberhasilan variabel desain untuk mendapatkan solusi terbaik (optimal).
6. Perhitungan harga-harga stokastik dari respon spektrum wahana apung digunakan untuk menentukan kualitas gerakan wahana apung. Semakin rendah amplitudo gerak signifikan terhadap amplitudo gelombang maka semakin baik kualitas bangunan apung.

2.2 Saran

Adapun saran yang penulis berikan agar didapatkan desain wahana apung *buoyweather* yang lebih tepat adalah :

1. Perlu dilakukan analisis terhadap 6 derajat kebebasan arah gerak kapal.
2. Sebaiknya dalam pemodelan wahana apung menggunakan bantuan *software Hydromax* agar hasil pemodelannya mendekati desain aslinya.
3. *Constrain* yang digunakan pada proses optimasi sebaiknya lebih detail lagi agar desain yang dihasilkan lebih optimal performansinya.

DAFTAR PUSTAKA

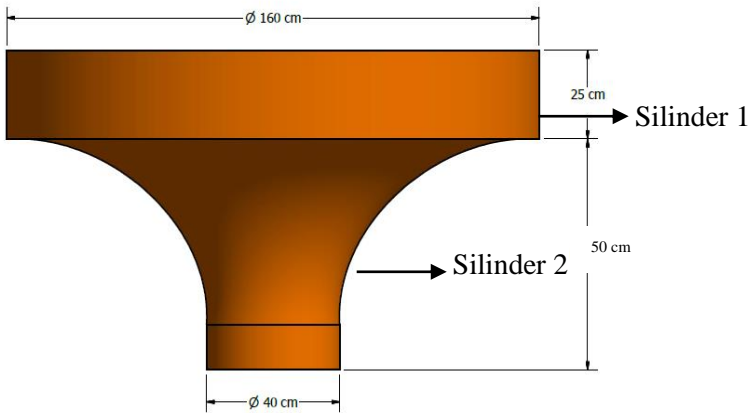
- Antonio C. Caputo, P. M. (2008). Heat Exchanger Design Based on Economic Optimization. Dalam *Applied Thermal Engineering* (hal. 1151-1159).
- Arifin, H. A. (2015). *Rancang Bangun Sistem Monitoring Kinerja Buoyhull Sebagai Wahana Apung Maritime Buoy Weather Station*. Surabaya: Teknik Fisika ITS.
- BMKG. (2017). Diambil kembali dari www.bmkg.go.id
- Center, N. D. (1966, March). *National Data Buoy Center*. (U.S. Dept. of Commerce) Dipetik January 24, 2017, dari <http://www.ndbc.noaa.gov>
- Djarmiko, E. B. (2012). *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak*. Surabaya: ITS Press.
- Fajar, R. (2008). *Analisis Numerik Respon Dinamis Spar Buoy*. Surabaya: Teknik Kelautan FTK ITS.
- Firlya Rosa, I. W. (t.thn.). *Peningkatan Stabilitas Kapal Isap Timah Model Katamaran (Catamaran) Dengan Metode Optimas*. Bandung: Teknik Mesin ITB.
- Fossen, T. I. (1996). Guidance and control of ocean vehicles. Dalam T. I. Fossen, *Guidance and control of ocean vehicles* (hal. Automatica (Vol 32)). Chichester: John Wiley & Sons.
- fossen, T. I. (2011). *Handbook Of Marine Craft Hydrodynamics and Motion Control*. Thorndheim, Norway: A john Wiley & Sons, Ltd.
- IMO. (2002). Code On Intact Stability For All Types of ships., (hal. Res.A.749(18)).
- J.M.J Journee, W. M. (2001). *Offshore Hydromechanics*. Delft University Of Technology.
- Kennedy J, E. R. (2007). *Particle Swarm Optimization*. United State: Purdue School Of Engineering Technology USA.
- Kurniawan, T. (2012). *Rancang Bangun Maritime Buoy Weather Untuk Mendukung Sistem Informasi Cuaca di Pelabuhan Perak Surabaya*. Surabaya: Teknik Fisika ITS.
- Mujahid, A. S. (2016). *Hammer Buoy Nummerical Analysis*

- Report*. Surabaya: LHI ITS.
- Roffi'udin. (2009). *Analisa Perilaku Dinamis Struktur Spar Buoy Floating Wind Turbine Dengan Kondisi Lingkungan di Perairan Kepulauan Seribu*. Surabaya: Teknik Kelautan ITS.
- Sugianto, E. (2012). *Analisa dan Pemodelan Wahana Apung Maritime Buoy Weather*. Surabaya: Teknik Fisika ITS.
- Syamsul Arifin, A. S. (2016). *Integrasi Sistem Buoyweather Untuk Membangun Sistem Informasi Cuaca Maritim di SubDaerah WPP 712 Laut Jawa Sebagai Upaya Peningkatan Keselamatan Nelayan Jawa Timur*. Surabaya: LPPM ITS.
- Syamsul Arifin, B. L. (2011). *Rancang Bangun Sistem Monitoring Maritim Weather Station Untuk Meningkatkan Keselamatan Transportasi Laut di Indonesia*. Surabaya: Teknik Fisika ITS.
- Turgut Sarpkaya, M. I. (1981). *Mechanics of Wave Forces on Offshore Structures*. United State : Van Nostrand Reinhold Company Inc.
- UNCLOS. (1982). *United Nations*. Dipetik January 24, 2017, dari www.un.org
- Veriyawan, R. (2014). *Optimasi Desain Heat Exchanger Shell-And-Tube dengan Menggunakan Metode Particle Swarm Optimization*. Surabaya: Teknik Fisika ITS.

LAMPIRAN A

PERHITUNGAN MANUAL RESPON MODEL BUOYWEATHER TYPE II

Pehitungan respon model buoywetaher type II secara numerik dilakukan dengan bantuan excel, sedangkan berikut ini merupakan perhitungan respon model buoyweather type II secara manual dengan data dimensi desain buoyweather yaitu 1,6 m (D1); 0,4 m (D2); 0,25 m (L1); 0,5 m (L2)



$$mI = \pi r_1^2 L_1 \rho_{buoy} = 3,14 \times 0,8^2 \times 0,25 \times 860 = 432,064 \text{ kg}$$

$$mII = \pi r_2^2 L_2 \rho_{buoy} = 3,14 \times 0,2^2 \times 0,5 \times 860 = 54,008 \text{ kg}$$

$$m_{total} = mI + mII = 486,072 \text{ kg}$$

$$FG = m_{total} \times g = 486,072 \times 9,8 = 4763,506 \text{ N}$$

Titik Berat (KG)

$$KG = \frac{W_I Y_I + W_{II} Y_{II}}{W_I + W_{II}}$$

$$KG = \frac{(432,064 \times 9,8)(0,5 + (0,5 \times 0,25)) + (54,008)(0,5 \times 0,25)}{(432,064 \times 9,8) + (54,008 \times 9,8)}$$

$$KG = 0,583 \text{ m}$$

$$FG = FB$$

$$4763,506 = \pi r_1^2 L_{1terendam} \rho_{air} + \pi r_2^2 L_{2terendam} \rho_{air}$$

$$4763,506 = (3,14 \times 0,8^2 \times L_{1\text{terendam}} \times 1025) + 3,14 \times 0,2^2 \times 0,5 \times 1025$$

$$L_{1\text{terendam}} = 0,205 \text{ m}$$

Titik Apung (KB)

$$KB = \frac{W_{I\text{terendam}} Y_{I\text{terendam}} + W_{II\text{terendam}} Y_{II\text{terendam}}}{W_{I\text{terendam}} + W_{II\text{terendam}}}$$

$$KB = \frac{4132,68(0,5 + (0,5 \times 0,205)) + 630,826(0,5 \times 0,205)}{4132,68 + 630,826}$$

$$KB = 0,556 \text{ m}$$

Volume silinder yang terendam

$$VI = \pi r_1^2 L_{1\text{terendam}} = 3,14 \times 0,8^2 \times 0,205 = 0,411 \text{ m}^3$$

$$VII = \pi r_2^2 L_{2\text{terendam}} = 3,14 \times 0,2^2 \times 0,5 = 0,063 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{total terendam}} = 0,474 \text{ m}^3$$

Momen inersia bidang tampang silinder yang terendam

$$I = \frac{1}{64} \pi D_{\text{terendam}}^4$$

$$I = \frac{1}{64} \times 3,14 \times 1,6^4$$

$$I = 0,322 \text{ m}^4$$

Tinggi Metasentrum

$$GM = BM - (KG - KB)$$

$$GM = \frac{I}{V} - (KG - KB)$$

$$GM = \frac{0,322}{0,474} - (0,583 - 0,556)$$

$$GM = 0,650 \text{ m}$$

Pada hasil perhitungan diketahui bahwa $GM > KG$ sehingga dapat dinyatakan bahwa wahana apung buoyweather memiliki kestabilan positif saat tidak mendapatkan beban lingkungan. Dari Hasil tersebut dapat digunakan untuk menghitung massa tambah yang diperbolehkan. Berikut ini perhitungan massa tambah yang diperbolehkan :

$$\Delta - w = M_a + M_b + M_c$$

$$[3,14 \times 1025 \times (0,8^2 \times 0,25 + 0,2^2 \times 0,5)] - 486,072$$

$$= M_a + M_b + M_c$$

$$579,33 - 486,072 = M_a + M_b + M_c$$

$$M_a + M_b + M_c = 93,258 \text{ kg}$$

Dimana : Δ = massa buoy di air

w = massa buoy

Ma = massa instrument

Mb = massa manusia

Mc = massa cadangan

Untuk massa cadangan (Mc) nilainya harus 50% dari Δ -W (selisih massa buoy di air dengan di udara). Hal ini bertujuan agar buoy tidak tenggelam. Sehingga didapatkan :

$$M_c = 50\% (\Delta - W)$$

$$M_c = 50\% \times 93,258 \text{ kg}$$

$$M_c = 46,629 \text{ kg}$$

Didapatkan massa cadangan yang diperbolehkan yaitu sebesar 46,629 kg sedangkan untuk massa instrument dan massa manusia yang diperbolehkan dapat diketahui dengan menggunakan persamaan berikut :

$$M_a + M_b + M_c = 93,258$$

$$M_a + M_b = 93,258 - 46,629$$

$$M_a + M_b = 46,629$$

Sehingga antara massa instrumen dengan massa manusia yang diperbolehkan untuk ditempatkan diatas wahana apung buoyweather adalah 23,3145 kg setiap masing-masing massa. Dimana batas massa tersebut merupakan batas massa maksimum yang diperbolehkan dan diketahui bahwa instrumen yang diletakkan pada buoyweather type II memiliki massa sebesar 10 kg sehingga dapat dinyatakan bahwa instrumen tersebut diperbolehkan untuk diletakkan diatas wahana apung buoyweather type II. Namun jika terjadi perbaikan dan pengecekan terhadap kelayakan wahana apung buoyweather saat terapung maka seseorang manusia tidak dapat menaiki wahana apung tersebut karena pada umumnya manusia dewasa memiliki berat diatas 50kg.

Kekakuan Hidrostatik Untuk Gerak Heave

$$c = \rho g \sum A_w$$

A_w = Luas alas yang terendam + Luas selimut terendam

$$A_w = \pi(r_1)^2 + (2\pi r_1 x_1 + 2\pi r_2 x_2)$$

$$A_w = \pi(0,8)^2 + (2\pi \times 0,8 \times 0,205 + 2\pi \times 0,2 \times 0,5)$$

$$A_w = 3,666 \text{ m}^2$$

$$c = 1025 \times 9,8 \times 3,666$$

$$c = 36826,39$$

Redaman,

$$b = 10\% \cdot 2\sqrt{m}$$

$$b = 10\% \cdot 2\sqrt{36826,39 \times 486,062}$$

$$b = 846,17$$

Berikut ini hasil perhitungan karakteristik statis dengan 3 variasi pembebanan yaitu 1. Kosong, 2. Pembebanan 50%, 3. Pembebanan 100% menggunakan excel :

| Kriteria | Nilai | | |
|-----------------|-------------|------------------------|-------------------------|
| | Buoy (I) | Buoy +50% load (II) | Buoy+100% load (III) |
| mI | 432,064 | 432,064 | 432,064 |
| m tambah | 0 | 243,036 | 486,072 |
| mII | 54,008 | 54,008 | 54,008 |
| mtotal | 486,072 | 729,108 | 972,144 |
| FG | 4763,506 | 7145,258 | 9527,011 |
| yII | 0,250 | 0,250 | 0,250 |
| yI | 0,625 | 0,625 | 0,625 |
| VI | 0,502 | 0,502 | 0,502 |
| VII | 0,063 | 0,063 | 0,063 |
| KG | 0,583 | 0,583 | 0,583 |
| FII terendam | 630,826 | 630,826 | 630,826 |
| h1 terendam | 0,205 | 0,323 | 0,441 |
| h2 terendam | 0,500 | 0,500 | 0,500 |
| V1 terendam | 0,411 | 0,649 | 0,886 |

| Kriteria | Nilai | | |
|--------------|-------------|------------------------|-------------------------|
| | Buoy (I) | Buoy +50% load (II) | Buoy+100% load (III) |
| v2 terendam | 0,063 | 0,063 | 0,063 |
| h1' terendam | 0,602 | 0,661 | 0,720 |
| h2' terendam | 0,250 | 0,250 | 0,250 |
| KB | 0,556 | 0,625 | 0,689 |
| I terendam | 0,322 | 0,322 | 0,322 |
| BM | 0,678 | 0,452 | 0,339 |
| GM | 0,650 | 0,494 | 0,445 |
| Aw | 3,666 | 4,259 | 4,852 |
| Awl | 2,010 | 2,010 | 2,010 |
| Sarat | 0,705 | 0,823 | 0,941 |

Respon Gerak Heave Buoyweather di Gelombang Reguler

$$RAO = \frac{\zeta_{za}}{\zeta_a} = e^{-KT} \sqrt{\frac{\{c-a\omega^2\}^2 + \{b\omega\}^2}{\{c-(m+a)\omega^2\}^2 + \{b\omega\}^2}}$$

Dimana :

$$k = \frac{b}{2\sqrt{m \cdot c}}$$

sehingga persamaan RAO menjadi :

$$RAO = \frac{\zeta_{za}}{\zeta_a} = e^{-\frac{b}{2\sqrt{m \cdot c}}T} \sqrt{\frac{\{c-a\omega^2\}^2 + \{b\omega\}^2}{\{c-(m+a)\omega^2\}^2 + \{b\omega\}^2}}$$

Dengan mensubstitusikan nilai b, c dan T dari hasil perhitungan sebelumnya pada persamaan diatas serta mensubstitusikan nilai a=0 maka persamaan RAO sebagai fungsi frekuensi menjadi :

$$RAO = \frac{\zeta_{za}}{\zeta_a} = e^{-0,071} \sqrt{\frac{\{36826,39\}^2 + \{846,17\omega\}^2}{\{36826,39 - (486,072)\omega^2\}^2 + \{846,17\omega\}^2}}$$

Nilai RAO dihitung untuk 3 variasi keadaan pembebanan dengan menggunakan persamaan berikut :

1. Keadaan kosong

$$RAO = \frac{\zeta_{za}}{\zeta_a} = e^{-0,071} \sqrt{\frac{\{36826,39\}^2 + \{846,17\omega\}^2}{\{36826,39 - (486,072)\omega^2\}^2 + \{846,17\omega\}^2}}$$

2. Keadaan 50%load

$$RAO = \frac{\zeta_{za}}{\zeta_a} = e^{-0,082} \sqrt{\frac{\{47280,77 - 243,036\omega\}^2 + \{1116,992\omega\}^2}{\{47280,77 - (729,108)\omega^2\}^2 + \{1116,992\omega\}^2}}$$

3. Keadaan 100%load

$$RAO = \frac{\zeta_{za}}{\zeta_a} = e^{-0,094} \sqrt{\frac{\{48735,16 - 486,072\omega\}^2 + \{1376,628\omega\}^2}{\{47280,77 - (972,144)\omega^2\}^2 + \{1376,628\omega\}^2}}$$

Spektrum Gelombang Acak

Spektrum gelombang acak yang digunakan menggunakan spektrum JONSWAP dengan variasi 5 variasi ketinggian gelombang yaitu 0,3 m; 0,88 m; 1,88 m; 3,25 m; 5 m. Berikut ini persamaan spektrum JONSWAP yang digunakan :

$$S_{\zeta}(\omega) = \frac{320H_{1/3}^2}{T_p^4} \omega_c^{-5} \exp \left\{ \frac{-1950}{T_p^4} \omega_c^{-4} \right\} \gamma^A$$

Dimana :

$\gamma = 3,3$ (parameter ketinggian)

$$A = \exp \left\{ - \left(\frac{\frac{\omega_c}{\omega_p} - 1}{\frac{\sigma}{\sqrt{2}}} \right)^2 \right\}$$

$$\omega_p = \frac{2\pi}{T_p}$$

σ = parameter bentuk

$\sigma = 0,07$ jika $\omega_c < \omega_p$

$\sigma = 0,09$ jika $\omega_c > \omega_p$

Dengan mesubtitusikan setiap variasi ketinggian gelombang signifikan dengan nilai periode puncak untuk masing-masing variasi ketinggian gelombang signifikan. Sehingga persamaan spektrum JONSWAP menjadi :

1. Ketinggian gelombang signifikan 0,3 m

$$S_{\zeta}(\omega) = \frac{320 \times 0,3^2}{7,5^4} \omega_c^{-5} \exp \left\{ \frac{-1950}{7,5^4} \omega_c^{-4} \right\} 3,3^{\exp \left\{ - \left(\frac{\frac{\omega_c}{0,8373} - 1}{\sigma \sqrt{2}} \right)^2 \right\}}$$

Dimana :

$$\sigma = 0,07 \text{ jika } \omega_c < \omega_p$$

$$\sigma = 0,09 \text{ jika } \omega_c > \omega_p$$

2. Ketinggian gelombang signifikan 0,88 m

$$S_{\zeta}(\omega) = \frac{320 \times 0,88^2}{7,5^4} \omega_c^{-5} \exp \left\{ \frac{-1950}{7,5^4} \omega_c^{-4} \right\} 3,3^{\exp \left\{ - \left(\frac{\frac{\omega_c}{0,8373} - 1}{\sigma \sqrt{2}} \right)^2 \right\}}$$

Dimana :

$$\sigma = 0,07 \text{ jika } \omega_c < \omega_p$$

$$\sigma = 0,09 \text{ jika } \omega_c > \omega_p$$

3. Ketinggian gelombang signifikan 1,88 m

$$S_{\zeta}(\omega) = \frac{320 \times 1,88^2}{8,8^4} \omega_c^{-5} \exp \left\{ \frac{-1950}{8,8^4} \omega_c^{-4} \right\} 3,3^{\exp \left\{ - \left(\frac{\frac{\omega_c}{0,7136} - 1}{\sigma \sqrt{2}} \right)^2 \right\}}$$

Dimana :

$$\sigma = 0,07 \text{ jika } \omega_c < \omega_p$$

$$\sigma = 0,09 \text{ jika } \omega_c > \omega_p$$

4. Ketinggian gelombang signifikan 3,25 m

$$S_{\zeta}(\omega) = \frac{320 \times 3,25^2}{9,7^4} \omega_c^{-5} \exp \left\{ \frac{-1950}{9,7^4} \omega_c^{-4} \right\} 3,3^{\exp \left\{ - \left(\frac{\frac{\omega_c}{0,64742} - 1}{\sigma \sqrt{2}} \right)^2 \right\}}$$

Dimana :

$$\sigma = 0,07 \text{ jika } \omega_c < \omega_p$$

$$\sigma = 0,09 \text{ jika } \omega_c > \omega_p$$

5. Ketinggian gelombang 5 m

$$S_{\zeta}(\omega) = \frac{320 \times 5^2}{13,8^4} \omega_c^{-5} \exp \left\{ \frac{-1950}{13,8^4} \omega_c^{-4} \right\} 3,3^{\exp \left\{ - \left(\frac{\frac{\omega_c}{0,45507} - 1}{\sigma \sqrt{2}} \right)^2 \right\}}$$

Dimana :

$$\sigma = 0,07 \text{ jika } \omega_c < \omega_p$$

$$\sigma = 0,09 \text{ jika } \omega_c > \omega_p$$

Respon Gerak Heave Buoyweather di Gelombang Acak

Respon gerak heave buoyweather dihitung dengan variasi 3 pembebanan yaitu 1. Keadaan kosong, 2. Pembebanan 50%, 3. Pembebanan 100% untuk setiap variasi ketinggian gelombang . Berikut persamaan yang digunakan :

1. Keadaan kosong

- a. Ketinggian gelombang signifikan 0,3 m

$$S_{\zeta r}(\omega) = RAO^2_{kosong} \times S_{\zeta}(\omega)_{0,3}$$

- b. Ketinggian gelombang signifikan 0,88 m

$$S_{\zeta r}(\omega) = RAO^2_{kosong} \times S_{\zeta}(\omega)_{0,88}$$

- c. Ketinggian gelombang signifikan 1,88 m

$$S_{\zeta r}(\omega) = RAO^2_{kosong} \times S_{\zeta}(\omega)_{1,88}$$

- d. Ketinggian gelombang signifikan 3,25 m

$$S_{\zeta r}(\omega) = RAO^2_{kosong} \times S_{\zeta}(\omega)_{3,25}$$

- e. Ketinggian gelombang signifikan 5 m

$$S_{\zeta r}(\omega) = RAO^2_{kosong} \times S_{\zeta}(\omega)_5$$

2. Keadaan 50% load

- a. Ketinggian gelombang signifikan 0,3 m

$$S_{\zeta r}(\omega) = RAO^2_{50\%load} \times S_{\zeta}(\omega)_{0,3}$$

- b. Ketinggian gelombang signifikan 0,88 m

$$S_{\zeta r}(\omega) = RAO^2_{50\%load} \times S_{\zeta}(\omega)_{0,88}$$

- c. Ketinggian gelombang signifikan 1,88 m

$$S_{\zeta r}(\omega) = RAO^2_{50\%load} \times S_{\zeta}(\omega)_{1,88}$$

- d. Ketinggian gelombang signifikan 3,25 m

$$S_{\zeta r}(\omega) = RAO^2_{50\%load} \times S_{\zeta}(\omega)_{3,25}$$

- e. Ketinggian gelombang signifikan 5 m

$$S_{\zeta r}(\omega) = RAO^2_{50\%load} \times S_{\zeta}(\omega)_5$$

3. Keadaan 100% load

- a. Ketinggian gelombang signifikan 0,3 m

$$S_{\zeta r}(\omega) = RAO^2_{100\%load} \times S_{\zeta}(\omega)_{0,3}$$

- b. Ketinggian gelombang signifikan 0,88 m

$$S_{\zeta r}(\omega) = RAO^2_{100\%load} \times S_{\zeta}(\omega)_{0,88}$$

- c. Ketinggian gelombang signifikan 1,88 m

$$S_{\zeta r}(\omega) = RAO^2_{100\%load} \times S_{\zeta}(\omega)_{1,88}$$

- d. Ketinggian gelombang signifikan 3,25 m

$$S_{\zeta r}(\omega) = RAO^2_{100\%load} \times S_{\zeta}(\omega)_{3,25}$$

- e. Ketinggian gelombang signifikan 5 m

$$S_{\zeta r}(\omega) = RAO^2_{100\%load} \times S_{\zeta}(\omega)_5$$

LAMPIRAN B

LISTING PROGRAM OPTIMASI MATLAB

Perhitungan Desain Buoy

```

function [RAO,m,GM,KG]=BUOYII(D1,D2,L1,L2)
    %Data Buoy Type II
    %Data Fix
    %D1=1.6; %diameter silinder 1
    %D2=0.4; %diameter silinder 2
    %L1=0.25; %tinggi silinder 1
    %L2=0.5; %tinggi silinder 2
    rhoair=1025; %massa jenis air laut
    rhobuoy=860; %massa jenis buoyshi=30;
    %w=0.455072; %frekuensi maks gelombang sea state 6
    wc=7.526; %frekuensi enkonter maks gelombang sea state 6
    %kalkulasi
    m1=3.14*((D1/2)^2)*L1*rhobuoy; %massa silinder 1
    m2=3.14*((D2/2)^2)*L2*rhobuoy; %massa silinder 2
    m=m1+m2; %massa total buoy
    FG=m*9.8;
    KG=((3.14*((D1/2)^2)*L1*((0.5*L1)+L2))+((3.14*((D2/2)^2)*L2*((0.5*L2))))/((3.14*((D1/2)^2)*L1)+(3.14*((D2/2)^2)*L2));
    %titik berat buoy dari dasar buoy
    FB=3.14*((D2/2)^2)*L2*rhoair*9.8; %gaya angkat silinder 2
    h1=(FG-FB)/(3.14*((D1/2)^2)*rhoair*9.8); %tinggi silinder 1 yang terendam
    KB=((3.14*((D1/2)^2)*h1*((0.5*h1)+L2))+((3.14*((D2/2)^2)*L2*((0.5*L2))))/((3.14*((D1/2)^2)*h1)+(3.14*((D2/2)^2)*L2));
    %titik apung bouy dari dasar buoy
    I1=(1/64)*3.14*(D1^4); % momen inersia silinder 1
    BM=I1/((3.14*((D1/2)^2)*h1)+(3.14*((D2/2)^2)*L2));
    GM=BM-(KG-KB); % tinggi metasentrum buoy
    GZ=GM*(sin(0.524)); % lengan penegak
    P=(-GM*(cos(0.524)))+(GM*(cos(0)));
    P1=(-GM*(cos(0.698)))+(GM*(cos(0)));

```

```

P2=(-GM*(cos(0.698)))+(GM*(cos(0.524)));
Aw=(3.14*((D1/2)^2))+((2*3.14*(D1/2)*h1)+(2*3.14*(D2/2)*L
2)); % luas permukaan yang terendam air
T=L2+h1; %tinggi sarat buoy
a=0;
c=1025*9.8*Aw;%kekakuan heave
b=0.2*(sqrt(c*(m+a)));%redaman heave
k=b/(2*sqrt((m*c))); %nondimensi
RAO=(exp((-k*T)))*(sqrt((((c-a*(wc^2))^2)+((b*wc)^2)))/(((c-
((m+a)*(wc^2))^2)+((b*wc)^2))));%response amplitude operator
gerak heave buoy
End

```

Pengkondisian Dimensi Buoy (Veriyawan, 2014)

```

function swarm1 = conditioning(swarm)
max_val_1 = 2;           ... max_D1
min_val_1 = 0.5;        ... min_D1
max_val_2 = 1;           ... max_D2
min_val_2 = 0.25;       ... max_D2
max_val_3 = 0.3;         ... max_L1
min_val_3 = 0.1;         ... min_L1
max_val_4 = 0.6;         ... max_L2
min_val_4 = 0.2;         ... min_L2

for ii = 1:max(size(swarm))
    if( swarm(ii,1) > max_val_1 )
        swarm(ii,1) = max_val_1;
    elseif( swarm(ii,1) < min_val_1 )
        swarm(ii,1) = min_val_1;
    end

    if( swarm(ii,2) > max_val_2 )
        swarm(ii,2) = max_val_2;
    elseif( swarm(ii,2) < min_val_2 )
        swarm(ii,2) = min_val_2;
    end
end

```

```

    if( swarm(ii,3) > max_val_3 )
        swarm(ii,3) = max_val_3;
    elseif( swarm(ii,3) < min_val_3 )
        swarm(ii,3) = min_val_3;
    end

    if( swarm(ii,4) > max_val_4 )
        swarm(ii,4) = max_val_4;
    elseif( swarm(ii,4) < min_val_4 )
        swarm(ii,4) = min_val_4;
    end
    end
    swarm1 = swarm;
end

```

PSO (Veriyawan, 2014)

```

clear all;
close all;
clc

max_fbest_new=[];
fbest_new=[];
RAO_new=[];
m_new=[];
max_m_new=[];
eswarm=[];
datfbest=[];
lastbest_R=[];
RAO_m=[];
RAO_m_new=[];
%%-----inisialisasi partikel-----%%
dim=4;
n_swarm=30;

```

```

max_D1=2;    ... max_D1
min_D1=0.5;  ... min_D1
max_D2=1;    ... max_D2
min_D2=0.25; ... min_D2
max_L1=0.3;  ... max_L1
min_L1=0.1;  ... min_L1
max_L2=0.6;  ... max_L2
min_L2=0.2;  ... min_L2
%%-----parameter-----%%
c1=1;
c2=1;
max_theta=0.9;
min_theta=0.4;
iterasi=1;
max_iterasi=35;

%%-----inisialisasi swarm-----%%
swarm=[(max_D1-min_D2)*rand(n_swarm,1)+min_D1 ...
diameter silinder 1
      (max_D2-min_D2)*rand(n_swarm,1)+min_D2 ... diameter
silinder 2
      (max_L1-min_L1)*rand(n_swarm,1)+min_L1 ... ketinggian
silinder 1
      round(max_L2-min_L2)*rand(n_swarm,1)+min_L2 ...
ketinggian silinder 2
      ];

%break
for it=1:max_iterasi
    theta(it)=max_theta-((max_theta-min_theta)/max_iterasi)*it;
end

%break
%%-----evaluasi fitness-----%%
for i=1:n_swarm

```

```

[RAO(i,:),m(i,:),GM(i,:),KG(i,:)] = ...
    BUOYII(swarm(i,1),swarm(i,2),swarm(i,3),swarm(i,4));
%if m(i)<486.072
%  RAO_m_new=[RAO_m_new,RAO,m];
%end

while m(i,:)>486.072 && GM(i,:)<0.15 && GM(i,:)<KG(i,:);
    swarm=[(max_D1-min_D2)*rand(n_swarm,1)+min_D1 ...
diameter silinder 1
        (max_D2-min_D2)*rand(n_swarm,1)+min_D2 ... diameter
silinder 2
        (max_L1-min_L1)*rand(n_swarm,1)+min_L1 ... ketinggian
silinder 1
        round(max_L2-min_L2)*rand(n_swarm,1)+min_L2 ...
ketinggian silinder 2
    ];
    [RAO(i,:),m(i,:),GM(i,:),KG(i,:)] = ...
    BUOYII(swarm(i,1),swarm(i,2),swarm(i,3),swarm(i,4));

    %i=i-1;
end
end
%break
RAO_m=[RAO_m,RAO,m];

for i=1:n_swarm
    if m(i)< 486.072 && GM(i)>0.15 && GM(i)>KG(i)

RAO_m_new(i,:)=[RAO(i),m(i),swarm(i,1),swarm(i,2),swarm(i,3
),swarm(i,4)];
        end
    end
    % break
    %% -----inisialisasi velocity, pbest, fbest-----%%
    vswarm=zeros(n_swarm,dim);

```



```

pbest=swarm;
fbest=RAO;
[maxf,indx]=max(RAO_m_new(:,1));
gbest=swarm(indx,:);
lastbest=[0 0];
maxftot=[];
%break
%%-----start iterasi-----%%
while iterasi<max_iterasi
    r1=rand;
    r2=rand;
    for j=1:n_swarm
        %update kecepatan

vswarm(j,:)=(theta(iterasi).*vswarm(j,:))+c1*r1.*(pbest(j,:)-...
        swarm(j,:))+c2*r2.*(gbest-swarm(j,:));
        %update posisi
        swarm_new(j,:)=swarm(j,:)+vswarm(j,:);
    end

    %break
    swarm_new = conditioning(swarm_new);
    % break

    for i=1:n_swarm

[temp_RAO_new(i,:),temp_m_new(i,:),KG_new(i,:),GM_new(i,:
)] = ...

    BUOYII(swarm_new(i,1),swarm_new(i,2),swarm_new(i,3),swar
m_new(i,4));
    end
    %break
    pbest_new=swarm_new;
    temp_fbest_new=temp_RAO_new;
    %%-----record iterasi-----%%

```

```

%break

%%-----update pbest-----%%
changerow=temp_fbest_new>fbest;
fbest=fbest.*(1-changerow)+temp_fbest_new.*changerow;

pbest_new(find(changerow),:)=swarm_new(find(changerow),:);
[maxf,indx]=max(fbest);
maxftot=[maxftot;maxf];
gbest_new=pbest_new(indx,:);

if sum(var(pbest))<1e-8
    break
end
% break
iterasi=iterasi+1;
lastbest=gbest_new;

fbest_new=[fbest_new,temp_fbest_new];
RAO_new=[RAO_new,temp_RAO_new];
m_new=[m_new,temp_m_new];
lastbest_R=[lastbest_R,lastbest];
end

%%-----mencari nilai maksimal disetiap iterasi-----%
for k=1:length(fbest_new)
    [l,ind]=max(fbest_new(:,k));
    max_fbest_new=[max_fbest_new l];
end

for kk=1:length(m_new)
    [kk,ll]=max(m_new(:,ll));
    max_m_new=[max_m_new mm];
end

```

```
swarm_new(indx,:)  
  
%%-----plot swarm-----%%  
plot(maxftot); %plot fitness RAO  
%plot(max_m_new); %plot m
```


BIODATA PENULIS



Nama Lengkap penulis adalah Nuri Sabrina lahir di kota Denpasar pada tanggal 16 september 1995 dari ayah bernama Abdul Djalal dan ibu bernama Malicha. Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Pada tahun 2007 penulis menyelesaikan pendidikan SD di SD RDU Bangil, pada tahun 2010 menyelesaikan pendidikan SMP di SMPN 1 Bangil, pada tahun 2013 menyelesaikan pendidikan SMA di SMAN 1 Bangil. Pada tahun yang sama, penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Departemen Teknik Fisika ITS. Ketika tahun kedua, penulis telah aktif dalam organisasi dan kepanitiaan, seperti menjadi *staff* Kesejahteraan Mahasiswa di Himpunan Mahasiswa Teknik Fisika ITS (HMTF ITS) pada periode 2014-2015, menjadi *committee* panitia *National Event* yang diadakan oleh Departemen Teknik Fisika ITS yaitu *The 6th Engineering Physics Weeks 2015*. Pada bulan juli 2017 penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **Optimasi Desain Dimensi Wahana Apung Buoyweather Type II Menggunakan Metode Particle Swarm Optimization Untuk Kestabilan Pada Sea State**. Bagi pembaca yang memiliki kritik dan saran mengenai tugas akhir ini, maka dapat menghubungi penulis melalui email: nuri.sabrina58@gmail.com